



**Daniel Filipe
Ferreira Lopes**

**Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia
do Areão
Comportamento do Perfil Transversal**



**Daniel Filipe
Ferreira Lopes**

**Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia
do Areão
Comportamento do Perfil Transversal**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Cristina Maria Pinto da Gama Castro Pereira

professora auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Évora

Prof. Doutor. Carlos Daniel Borges Coelho

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que me acompanharam e apoiaram na realização deste trabalho.

Ao Professor Carlos Coelho, orientador científico da presente dissertação, quero agradecer pelo seu apoio, paciência, compreensão, discussão dos resultados e pelos melhoramentos de texto.

Ao Freitas, amigo e colega, pelo trabalho que em parte desenvolvemos em conjunto e pelos longos dias de Sol que passamos na praia a trabalhar.

Ao Professor Miguel Pessoa e Luís Meneses do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, pela disponibilidade e ajuda nos cálculos de topografia, equipamento topográfico e outras informações.

Ao Porto de Aveiro, em especial à Eng. Carla Garrido, pela disponibilidade e facultação de documentação que permitiu a georeferenciação de um ponto no esporão da praia do Areão.

Ao Eng. Nuno, Sr. Raul e Sr^a. Graça pelo apoio e disponibilidade na logística do trabalho.

A toda a minha família em especial aos meus pais e irmãs.

Aos meus amigos que diariamente contribuíram com todo o apoio e paciência.

Obrigado

palavras-chave

praia do Areão, inclinação do perfil transversal, morfodinâmica, granulometria da praia, clima de agitação

resumo

O presente trabalho tem por finalidade estudar o comportamento morfológico e sedimentar da praia do Areão no distrito de Aveiro, a Norte e a Sul de um esporão com o objectivo de correlacionar parâmetros morfológicos e hidrodinâmicos.

De forma a compreender quais os processos que sobre a praia actuam e de modo a conhecer o potencial que cada fenómeno assume na alteração da geomorfologia da praia, foram efectuadas campanhas mensais, durante um período de 6 meses, desde Novembro de 2007 a Abril de 2008, de levantamentos topográficos de perfis transversais da zona emersa da praia e de recolha de sedimentos. Durante esse período foram também recolhidos dados do clima de agitação do sítio da Internet do Instituto Hidrográfico, referentes à bóia ondógrafo de Leixões.

Relativamente aos sedimentos, caracterizaram-se os diâmetros médios das areias das amostras recolhidas em diversos locais da praia. Com base nos perfis transversais cotados, foram definidas várias hipóteses para a definição da inclinação da praia, uma vez que o declive que caracteriza a praia é um parâmetro que não está definido de forma normalizada. Os dados recolhidos referentes ao clima de agitação correspondem a valores obtidos ao largo. Com base em formulações simples, procedeu-se à caracterização do clima de agitação na rebentação, considerando os fenómenos do empolamento e da refacção.

Procuraram-se correlações entre as variáveis, que permitissem definir um comportamento padrão. Verificaram-se relações entre os valores recolhidos da altura de onda, do diâmetro médio dos sedimentos e da inclinação dos perfis da praia. Foi ainda possível determinar o grau de exposição da praia, demonstrando uma tendência de praia exposta.

Com o objectivo de avaliar as inclinações da praia, foram comparadas as formulações de Kamphuis (1986) e Sunamura (1994), com os resultados obtidos para a inclinação da zona da praia em estudo. Verificaram-se relações de semelhança entre valores, para alguns perfis em estudo.

A partir de parâmetros morfodinâmicos como a velocidade de queda adimensional (Ω), o ângulo da face da praia e o número de Iribarren, os perfis da praia foram classificados em geral como intermédios quanto ao nível energético, de acordo com Short (1999).

keywords

Areão beach, cross-shore profile, morphodynamic, sediment, wave climate

abstract

This work aims to study the morphological behavior of Areão beach in the district of Aveiro, at the North and South part of a groin, in order to correlate morphological and hydrodynamic parameters.

In order to understand the processes that act on the beach and to know the potential that each phenomenon has in the changing of the beach geomorphology campaigns were carried out monthly for a period of 6 months, from November 2007 to April 2008, surveying cross-shore profiles of the emerged area of the beach and gathering sediments. During this period, data of the wave climate were also collected from the Instituto Hidrográfico Internet website, relating to buoy of Leixões.

Sediment grain sizes of the sands collected at various points across the beach were determined. Based on the cross-shore profiles, several hypotheses were considered for the beach slope, since the definition of this parameter is not standardized. The wave data collected were obtained in the buoy of Leixões, offshore. Based on simple formulations, characterization of the wave climate at breaking was determined, considering the phenomena of shoaling and refraction.

Correlations between variables were tried, which would allow to set a standard behavior. Relations between the significant wave height, the average grain size and beach slope profiles were proved. It was also possible to determine the degree of exposure of the beach showing a trend of exposed beach.

In order to evaluate the beach slopes, the formulations of Kamphuis (1986) and Sunamura (1994) were compared with the results from the beach slope area under study. There were relations of similarity between values, for some of these profiles.

Considering morphodynamics parameters such as dimensionless fall velocity, (Ω) , the beach slope and the number of Iribarren, the profiles of the beach were generally classified as intermediate, according to Short (1999).

Índice

1	Introdução.....	1
2	Descrição do trabalho de campo.....	3
3	Caracterização e análise de dados	5
3.1	Análise granulométrica	5
3.1.1	Dimensão dos sedimentos	6
3.1.2	Comparação com registos anteriores	8
3.1.3	Valores adoptados	10
3.2	Clima de agitação	12
3.2.1	Clima de agitação ao largo	13
3.2.2	Clima de agitação na rebentação	15
3.2.2.1	Fenómenos de alteração da agitação na propagação.....	16
3.3	Perfil transversal.....	20
3.3.1	Definição e limites de uma praia	20
3.3.1.1	Zona morfológica	21
3.3.1.2	Zona hidrodinâmica	22
3.3.2	Inclinação do perfil transversal	22
4	Correlação entre dados	29
4.1	Relação entre a dimensão dos sedimentos e o clima de agitação.....	29
4.2	Relação entre a inclinação e a dimensão dos sedimentos.....	32
4.3	Relação entre a inclinação e o clima de agitação.....	38
5	Comparações com formulações numéricas.....	41
6	Classificação do tipo de praia segundo critérios morfodinâmicos.....	43
6.1	Velocidade de queda adimensional.....	43
6.2	Tipo de rebentação da onda	47
6.3	Inclinação da praia.....	49
6.4	Discussão de resultados.....	49
7	Considerações finais.....	51
7.1	Conclusões	51
7.2	Desenvolvimentos futuros	53
	Referências bibliográficas.....	55
	Anexos.....	57

Lista de figuras

Figura 1 -	Área de estudo.	3
Figura 2 -	Comportamento granulométrico de uma praia antes e após tempestade (adaptado de Rijn <i>et al.</i> 2001).	10
Figura 3 -	Dispersão temporal e espacial da granulometria da praia do Areão.	11
Figura 4 -	Representação da direcção de ondulação (dados do IH para a bóia de Leixões, recolhidos entre Novembro de 2007 e Abril de 2008).	15
Figura 5 -	Ângulo que a linha de costa da zona em estudo faz com a direcção Norte.	17
Figura 6 -	Esquema ilustrativo do fenómeno de difracção.	19
Figura 7 -	Diagrama geral do perfil de praia.	21
Figura 8 -	Inclinação da praia ao longo do tempo.	25
Figura 9 -	Inclinação da praia ao longo da sua extensão.	26
Figura 10 -	Relação dos diâmetros médios, d_{50} (mm), com a altura de ondas na rebentação, H_b (m).	30
Figura 11 -	Relação dos diâmetros das areias com a altura de onda na rebentação.	31
Figura 12 -	Relação entre inclinação e a dimensão das areias, para cada perfil ao longo do tempo.	33
Figura 13 -	Inclinação da face da praia em função do diâmetro dos sedimentos (in Komar), retirado de Pereira (2004).	34
Figura 14 -	Correlação entre a declividade da face da praia e a característica granulométrica dos sedimentos (adaptado de Wiegel, 1964, Muehe, 2001).	35
Figura 15 -	Relação da inclinação dos perfis com o diâmetro médio dos sedimentos do alinhamento L1.	36
Figura 16 -	Relação da inclinação dos perfis com o diâmetro médio dos sedimentos do Perfil.	37
Figura 17 -	Relação da inclinação de cada perfil com a altura de onda na rebentação.	39

Lista de tabelas

Tabela 1 -	Datas das campanhas realizadas.	4
Tabela 2 -	Diâmetro médio das areias (mm) recolhidas na praia do Areão (Novembro de 2007 a Abril de 2008).....	6
Tabela 3 -	Diâmetro médio das areias (mm) em cada perfil transversal.	7
Tabela 4 -	Diâmetro médio das areias (mm) a Norte e a Sul do esporão e em toda a praia.	8
Tabela 5 -	Comparação dos valores médios, d_{50} , para o mês de Fevereiro.	9
Tabela 6 -	Diâmetro médio das areias adoptado para caracterizar os perfis da praia do Areão.	12
Tabela 7 -	Número de registos recolhidos do IH, para diferentes períodos de tempo precedentes à data das campanhas.....	13
Tabela 8 -	Dados da agitação na bóia de Leixões.....	13
Tabela 9 -	Resultados da transformação da onda, na sua propagação até à rebentação.	18
Tabela 10 -	Inclinação dos perfis (%) a considerar para o estudo.	27
Tabela 11 -	Percentagem de resultados mensais obtida para cada tipo de praia.....	44
Tabela 12 -	Velocidade de queda dimensional (Ω), média.....	46
Tabela 13 -	Critério de classificação do tipo de rebentação das ondas, Short (1999).	48
Tabela 14 -	Critério de classificação de cada parâmetro, segundo Short (1999).	50

Lista de símbolos

d_{50} – Diâmetro médio dos sedimentos (mm)

d_b – Profundidade de rebentação da onda (m)

g – Aceleração da gravidade (9.807 m.s^{-2})

H_0 – Altura de onda significativa ao largo (m)

H_b – Altura de onda significativa na rebentação (m)

K_r – Coeficiente de refração

K_s – Coeficiente de empolamento da altura de onda, na rebentação

L_0 – Comprimento da onda ao largo (m)

L_b – Comprimento da onda na rebentação (m)

m – Declive da praia (%)

T – Período da onda (s)

T_0 – Período da onda ao largo (s)

Ω – Velocidade de queda adimensional

α_0 – Ângulo entre a crista da onda e a linha de costa

α_b – Ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa

β – Inclinação da praia (graus)

ξ_0 – Parâmetro de Battjes, relacionado com o tipo de rebentação das ondas

ω_s – Velocidade de queda dos sedimentos

1 Introdução

Este trabalho teve como finalidade estudar o comportamento morfológico e sedimentar da praia do Areão do distrito de Aveiro, a Norte e a Sul de um esporão, com o objectivo de correlacionar parâmetros morfológicos e hidrodinâmicos.

Para uma melhor compreensão do comportamento de uma praia interessa conhecer quais os processos que nela actuam, para assim perceber qual o potencial de importância que cada fenómeno assume na alteração da geomorfologia da praia.

Desta forma, durante um período de 6 meses, de Novembro de 2007 a Abril de 2008, foram efectuadas campanhas mensais de levantamentos topográficos de perfis transversais e de recolha de sedimentos. Ao longo desse período foram também recolhidos dados relativos ao clima de agitação a partir do sítio da Internet do Instituto Hidrográfico. No capítulo 2 foi apresentada informação relativa aos trabalhos de campo.

A análise dos resultados obtidos correspondentes ao diâmetro médio das areias, ao clima de agitação ao largo, que com base em formulações simples, foi transformado no clima de agitação na rebentação e à geometria dos perfis transversais, é apresentada no capítulo 3. Com base nesta análise, foi possível reter alguns dados, permitindo por exemplo, definir a inclinação da praia.

Ainda na tentativa de contribuir para a caracterização da praia em estudo procurou-se uma correlação entre variáveis, que permitisse definir um padrão de comportamento. Verificaram-se relações entre os valores recolhidos da altura de onda, os valores do diâmetro médio dos sedimentos e os valores da inclinação dos perfis da praia. No âmbito da comparação das variáveis foi apresentada ainda informação que permitiu determinar o grau de exposição de uma praia: praia exposta, semi-exposta ou abrigada. Esta informação é apresentada no capítulo 4.

No capítulo 5, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos para a inclinação da zona da praia em estudo, com formulações numéricas dependentes da dimensão dos sedimentos e do clima de agitação, propostas por Kamphuis (1986) e Sunamura (1994), com o objectivo de avaliar a adequabilidade das formulações numéricas à região estuda.

A classificação do tipo de praia teve por base a variabilidade dos perfis topografados e do clima de agitação. No capítulo 6, recorreu-se a diferentes parâmetros morfodinâmicos, como a velocidade de queda adimensional, o ângulo da face da praia e o número de Iribarren, classificando-se cada um dos perfis monitorizados e também comparando a inclinação obtida neste trabalho com a que é sugerida por Short (1999).

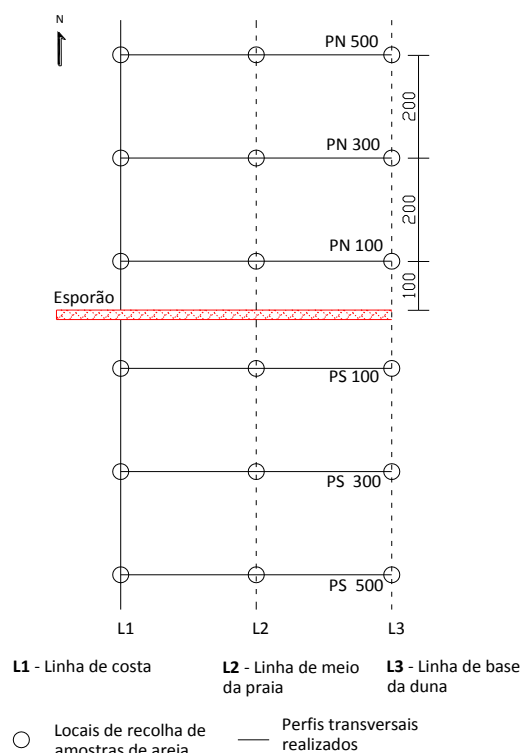
2 Descrição do trabalho de campo

Para permitir uma análise da relação do comportamento entre a evolução do perfil transversal das praias, o clima de agitação e a dimensão das areias que a constituem, foi escolhida e monitorizada uma praia ao longo de 6 meses.

A área em estudo é a praia do Areão, localizada na costa Noroeste de Portugal entre a praia da Vagueira e a praia de Mira (figura 1a).



a) Foto aérea da praia do Areão (Google Earth).



b) Ilustração esquemática da praia monitorizada.

Figura 1 - Área de estudo.

A área monitorizada abrange uma extensão de 500 m a Norte e a Sul do esporão desta praia. Cada lado do esporão foi caracterizado por três perfis transversais, paralelos ao esporão, separados por 200 metros cada (figura 1b). Foram realizadas campanhas de campo uma vez por mês, durante seis meses, com início no mês de Novembro de 2007 e final em Abril 2008.

Em cada campanha foram recolhidas três amostras de sedimentos por perfil da zona emersa e topografado cada um dos perfis (figura 1b). Em cada perfil, as amostras recolhidas localizam-se

junto à linha de água, a meio da praia e junto à base da duna, obtendo-se assim, elementos que permitem caracterizar a granulometria das areias. Em suma, durante os seis meses forma recolhidas 108 amostras de areia e posteriormente ensaiadas em laboratório.

A obtenção da topografia de cada perfil da praia foi realizada a partir de uma Estação Total. Os pontos cotados foram obtidos em situação de baixa-mar em fase de Lua Nova, período caracterizado por marés vivas, obtendo-se assim nestes períodos uma maior extensão de praia emersa. Foi definido um ponto no esporão que serviu de referência para todas as campanhas. Este ponto também foi topografado, tendo como referência um ponto georeferenciado pelo Instituto Hidrográfico. Os perfis obtidos tiveram como finalidade caracterizar a topografia da praia e a geometria do perfil transversal, permitindo uma análise acerca da inclinação da praia em cada perfil e da evolução dos perfis no tempo. Os pontos recolhidos ao longo dos perfis estenderam-se desde a linha de água, até ao topo da duna. Entre estes extremos, foram recolhidos pontos sempre que se verificava alguma variação no desenvolvimento da topografia no perfil.

Os trabalhos foram realizados nas datas indicados na tabela 1:

Tabela 1 - Datas das campanhas realizadas.

Campanha	14/11/2007	12/12/2007	09/01/2008	13/02/2008	12/03/2008	09/04/2008
Baixa-mar (hora)	11:07	10:20	09:33	13:09	11:55	10:51
Nível previsto para a baixa-mar (referido ao zero hidrográfico)	1.10 m	0.95 m	0.82 m	1.02 m	0.83 m	0.66 m
Fase lunar	Lua Nova					

3 Caracterização e análise de dados

No presente trabalho procedeu-se à caracterização do diâmetro médio das areias ao longo de cada perfil da praia emersa para as sucessivas campanhas, à definição do clima de agitação médio antecedente às campanhas e à caracterização geométrica dos perfis transversais da praia emersa.

Os parâmetros obtidos serviram de base para aplicação de possíveis correlações ou comportamentos padrão, avaliados no capítulo 4.

3.1 Análise granulométrica

A variação dos sedimentos numa praia torna-se importante, pois representa a visível dinâmica que caracteriza estas zonas. No entanto, a caracterização deste parâmetro depende de aspectos como o local de recolha das amostras e os valores escolhidos para a definição da dimensão das areias.

Como referido, para caracterização e análise da granulometria das areias da praia foram recolhidas amostras em cada campanha realizada. Em cada perfil foram recolhidas três amostras, uma junto à linha de costa (alinhamento L1 da figura 1b), outra a meio da praia (alinhamento L2) e a última junto a base da duna (alinhamento L3).

Cada uma das amostras recolhidas continha aproximadamente 1.0 Kg de areia, sendo recolhidas a uma profundidade de 20 a 25 cm, sendo que para a análise granulométrica foram utilizadas apenas 300 g. Após a recolha, as amostras foram colocadas em estufa aproximadamente 24h a uma temperatura de 65°C. As amostras foram depois divididas em quatro partes de modo a ser possível realizar as seguintes análises: granulometria por amostra (300.0 g), permitindo a comparação da granulometria de cada alinhamento L1, L2, L3 e a análise do comportamento ao longo de cada perfil transversal; granulometria da mistura das três amostras de cada perfil transversal, obtendo assim uma representação do perfil composta por 100.0 g de cada amostra, possibilitando fazer uma análise comparativa com a média das três amostras individuais do respectivo perfil; granulometria por praia a Norte e a Sul do esporão (compostas por 33.3 g das amostras individuais recolhidas a Norte e a Sul do esporão) e granulometria da mistura de toda a praia (16.6 g de cada amostra individual da respectiva campanha). No total foram realizadas 27 caracterizações granulométricas por campanha. A peneiração das amostras foi realizada em peneiros da série ASTM, com vibração durante 5 minutos.

3.1.1 Dimensão dos sedimentos

Após a análise granulométrica foram definidas as curvas de distribuição granulométrica características de cada amostra. A forma adoptada para exprimir a dimensão das areias, neste trabalho foi o d_{50} (dimensão média) onde 50 representa a percentagem em massa de partículas com dimensões inferiores ao valor d_{50} .

Na tabela 2, são apresentados os valores de d_{50} , obtidos em cada ponto de recolha. São também apresentadas as variações percentuais dos valores obtidos ao longo de cada alinhamento (em cada mês) e ao longo do tempo (em cada ponto de amostragem).

Tabela 2 - Diâmetro médio das areias (mm) recolhidas na praia do Areão (Novembro de 2007 a Abril de 2008).

		PN100	PN300	PN500	var.	PS100	PS300	PS500	var.
L1	Nov	0.43	0.44	0.50	16.9%	0.34	0.44	2.38	600.3%
	Dez	0.56	0.52	0.45	22.9%	0.43	0.45	0.50	17.0%
	Jan	0.47	0.52	0.52	11.3%	0.38	0.44	1.90	403.8%
	Fev	1.04	0.99	0.97	7.9%	0.56	0.70	0.58	24.8%
	Mar	0.49	0.52	0.82	68.2%	0.48	0.46	0.39	22.7%
	Abr	0.95	0.48	0.47	102.8%	0.51	0.48	0.62	28.8%
	var.	145%	125%	113%		66%	61%	512%	
L2	Nov	0.41	0.42	0.48	133.6%	1.44	0.39	0.42	269.6%
	Dez	0.45	0.46	0.41	12.6%	0.39	0.40	0.49	27.0%
	Jan	0.42	0.43	0.39	10.2%	0.48	0.44	0.53	18.5%
	Fev	0.50	0.48	0.48	5.3%	0.45	0.42	0.60	42.4%
	Mar	0.53	0.47	0.43	22.0%	0.40	0.41	0.43	6.8%
	Abr	0.48	0.50	0.47	6.6%	0.47	0.45	0.45	4.2%
	var.	158%	20%	23%		273%	16%	42%	
L3	Nov	0.47	0.48	0.44	8.9%	0.41	0.42	0.43	5.6%
	Dez	0.44	0.44	0.44	0.1%	0.43	0.45	0.43	6.6%
	Jan	0.48	0.43	0.45	11.4%	0.44	0.44	0.48	11.1%
	Fev	0.48	0.43	0.41	14.9%	0.40	0.45	0.48	18.5%
	Mar	0.47	0.44	0.45	7.4%	0.44	0.43	0.46	6.7%
	Abr	0.49	0.45	0.44	10.8%	0.43	0.45	0.48	13.8%
	var.	12%	12%	8%		9%	7%	14%	

Genericamente, verifica-se que os valores de d_{50} variam maioritariamente entre o intervalo 0.40 a 0.60 mm, com algumas excepções, tendo-se registado os maiores valores nos meses de Novembro e Janeiro no perfil PS500, com diâmetros de 2.38 e 1.90 mm respectivamente.

A granulometria junto à linha de costa, alinhamento L1, em termos espaciais e temporais, verifica a Sul do esporão, para o mês de Novembro a maior variação, excedendo os 600%, devido ao registo mais a Sul (PS500). Neste alinhamento, no mês de Fevereiro há registos elevados em todos os perfis. Nos perfis a Sul nota-se um aumento da granulometria em direcção a Sul, nomeadamente nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro. Verifica-se também que é no alinhamento L1 que os diâmetros se encontram mais vezes acima dos valores frequentes.

Para a areia recolhida a meio da praia (alinhamento L2), verifica-se que é também a Sul do esporão, para o mês de Novembro a maior variação, superando os 260%. Os valores obtidos para este alinhamento encontram-se dentro do intervalo 0.4 a 0.6 mm, não apresentando grandes variações espaciais ou temporais, com excepção do mês de Novembro. São os perfis mais próximos do esporão que representam maior variação da dimensão das areias ao longo do tempo.

Para as areias recolhidas junto à base da duna (alinhamento L3), os valores obtidos são bastante próximos entre si, apresentando pouca variação temporal e espacial. Esta zona emersa da praia é a que se encontra mais afastada da linha de costa apresentando-se menos exposta ao clima de agitação de ondas, podendo este facto explicar as menores variações. Os valores oscilam entre os 0.40 e 0.49 mm.

Tabela 3 - Diâmetro médio das areias (mm) em cada perfil transversal.

		PN100	PN300	PN500	var.	PS100	PS300	PS500	var.
Perfil	Nov	0.43	0.44	0.46	6.5%	0.46	0.41	0.50	21.2%
	Dez	0.47	0.45	0.44	8.9%	0.40	0.43	0.46	15.1%
	Jan	0.46	0.46	0.45	2.5%	0.44	0.44	0.59	34.8%
	Fev	0.56	0.52	0.50	11.3%	0.46	0.48	0.52	13.5%
	Mar	0.49	0.47	0.52	10.2%	0.44	0.43	0.43	1.7%
	Abr	0.52	0.46	0.45	15.6%	0.47	0.46	0.51	11.4%
	var.	29%	18%	19%		18%	16%	37%	
Média	Nov	0.43	0.44	0.47	8.8%	0.73	0.42	1.08	159.4%
	Dez	0.48	0.47	0.43	11.5%	0.41	0.44	0.47	14.4%
	Jan	0.46	0.46	0.45	1.6%	0.43	0.44	0.97	124.1%
	Fev	0.67	0.63	0.62	8.7%	0.47	0.52	0.55	17.6%
	Mar	0.49	0.47	0.57	19.5%	0.44	0.43	0.43	2.8%
	Abr	0.64	0.47	0.46	39.6%	0.47	0.46	0.52	11.9%
	var.	56%	42%	43%		76%	25%	154%	

Na tabela 3, comparam-se os valores obtidos em cada perfil transversal, por análise duma amostra composta por areia dos três pontos do perfil (Perfil), com a média dos resultados das amostras expressos na tabela 2 para os respectivos perfis (Média).

Os valores provenientes da junção das três amostras do perfil, são próximos dos resultados obtidos para a média, com pouca variação temporal e espacial. Efectuando a média do d_{50} das três amostras de cada perfil resultam em geral valores superiores. Os valores obtidos pela média também apresentam uma maior variação no tempo e no espaço.

Tabela 4 - Diâmetro médio das areias (mm) a Norte e a Sul do esporão e em toda a praia.

	Norte	Média	var.	Sul	Média	var.	Praia	Média	var.
Nov	0.44	0.45	2.1%	0.44	0.74	67.8%	0.44	0.56	27.3%
Dez	0.45	0.46	1.5%	0.44	0.44	1.0%	0.45	0.43	5.1%
Jan	0.45	0.45	1.7%	0.47	0.61	29.8%	0.46	0.51	9.2%
Fev	0.53	0.64	21.9%	0.50	0.52	3.7%	0.51	0.55	7.5%
Mar	0.48	0.52	7.0%	0.43	0.43	0.2%	0.46	0.45	2.1%
Abr	0.47	0.52	10.6%	0.48	0.48	0.3%	0.48	0.48	0.1%
var.	19%	42%		15%	71%		15%	32%	

A tabela 4 apresenta os resultados dos diâmetros médios a Norte e a Sul do esporão e em toda a praia. As médias apresentadas na tabela acima, obtidas para cada mês, resultam dos diâmetros médios das areias de todas as amostras dos perfis a Norte a Sul, ou de toda a praia, de acordo com os valores expostos na tabela 2. A variação para cada mês foi determinada considerando a razão da diferença entre a média e o diâmetro médio das areias, com o menor destes valores. A variação dos seis meses é determinada pela razão entre a máxima amplitude de valores dos seis meses e o menor diâmetro médio obtido para esse período.

Os valores obtidos para a praia a Norte e a Sul do esporão e em toda a praia são relativamente constantes no tempo (tabela 4), registando para o lado Norte do esporão a maior variação, correspondente a 19%. Os valores oscilam entre os 0.43 e 0.53 mm. Os resultados obtidos para a média apresentam valores superiores, com variações entre 0.43 e 0.74 mm.

3.1.2 Comparação com registos anteriores

Segundo Coelho (2005), Pureza e Araújo em 1956, caracterizaram a granulometria de diversas praias entre o Porto e a Figueira da Foz. Nesse estudo foram recolhidas amostras entre as zonas de preia-mar e baixa-mar, tendo sido concluído que apesar da dispersão de valores obtidos, o diâmetro médio correspondente à zona de preia-mar é, em geral, inferior ao de baixa-mar.

Trabalhos realizados por Pereira em 2000, para a caracterização da granulometria das areias recolhidas na zona entre marés de 10 estações localizadas entre a Costa Nova e Poço da Cruz, permitiram aferir que para os valores obtidos existiam variações espaciais e temporais e que as dimensões dos sedimentos eram compreendidas entre os 0.063 mm e 2 mm (valores característicos das areias).

Coelho (2005) recolheu amostras de areias na zona entre marés ao longo do trecho da costa do distrito de Aveiro. Efectuou cinco campanhas, num período correspondente a 16 meses compreendido entre Fevereiro de 2003 e a Junho de 2004, com intervalos de 4 meses. Posteriormente a este trabalho, a recolha de amostras de areia prosseguiu até Outubro de 2005, com o mesmo intervalo de tempo. A recolha de amostras foi realizada em períodos de baixa-mar em 20 locais (oito entre Esmoriz e o Furadouro, no Norte do distrito de Aveiro e doze entre as praias da Barra e do Areão). Nesse trabalho pode-se verificar grande dispersão de resultados na dimensão das areias no distrito de Aveiro. A campanha que menor dispersão de valores registou foi a de Outubro de 2003, com valores de d_{50} a oscilarem entre os 0.26 mm e os 0.65 mm. Dos 20 locais de amostras recolhidos por Coelho (2005), dois dos locais, (o primeiro a cerca de 200 m a Norte do esporão do Areão e o segundo a Sul do esporão do Areão), podem ser directamente comparados com os resultados agora obtidos. A partir dos valores médios da tabela 5, constata-se que a Norte do esporão existe maior dispersão de resultados, e que os valores médios agora obtidos a Sul do esporão são ligeiramente superiores aos de Coelho (2005).

Tabela 5 - Comparação dos valores médios, d_{50} , para o mês de Fevereiro.

Locais	2003	2004	2005	2008		
				L1	L2	L3
Norte do esporão do Areão	0.42	0.66	0.38			
PN100	-	-	-	1.04	0.50	0.48
PN300	-	-	-	0.99	0.48	0.43
PN500	-	-	-	0.97	0.48	0.45
Média	0.42	0.66	0.38	1.00	0.49	0.45
Sul do esporão do Areão	0.42	0.39	0.4			
PS100	-	-	-	0.56	0.45	0.40
PS300	-	-	-	0.70	0.42	0.45
PS500	-	-	-	0.58	0.60	0.48
Média	0.42	0.39	0.40	0.62	0.49	0.44

Rijn *et al.* (2001), apresentam um estudo da variação da granulometria da praia. De acordo com a figura 2.

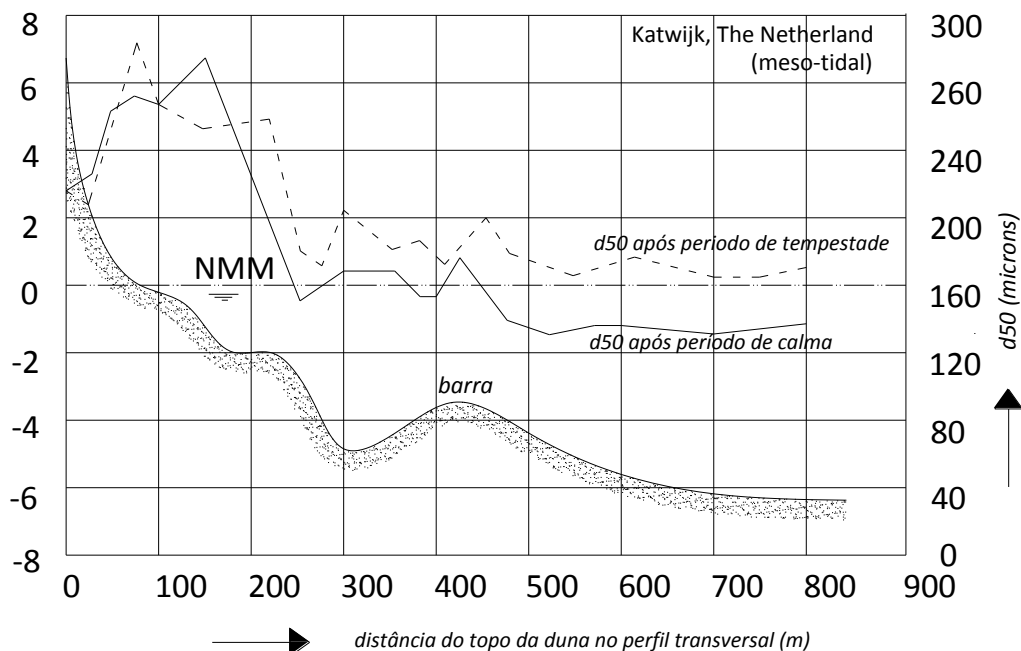


Figura 2 - Comportamento granulométrico de uma praia antes e após tempestade (adaptado de Rijn *et al.* 2001).

Da análise da figura 2, pode ser feita uma análise directa do estudo de Rijn *et al.* (2001), relativamente à zona emersa do perfil corresponde aos 70 metros iniciais.

Verifica-se uma tendência crescente da dimensão dos sedimentos à medida que se aproxima da linha de água, para ambos os períodos de agitação marítima. Para períodos de agitação após tempestade registam-se granulometria superiores junto à linha de água, ou seja, estima-se que os elementos mais finos são removidos por climas de agitação mais energéticos.

Desta forma, verifica-se que os diâmetros obtidos neste estudo, nomeadamente a granulometria do alinhamento L1 e L3, são semelhantes aos resultados obtidos por Rijn *et al.* (2001), ou seja, as granulometrias junto à linha de água apresentam maiores dimensões do que as junto à base da duna.

3.1.3 Valores adoptados

Da diversidade de valores obtidos para a granulometria da praia, pretende-se escolher aqueles que possibilitam no seguimento dos trabalhos, realizar correlações com outros parâmetros. O gráfico da figura 3 permite tirar algumas conclusões de quais os valores a ter em conta.

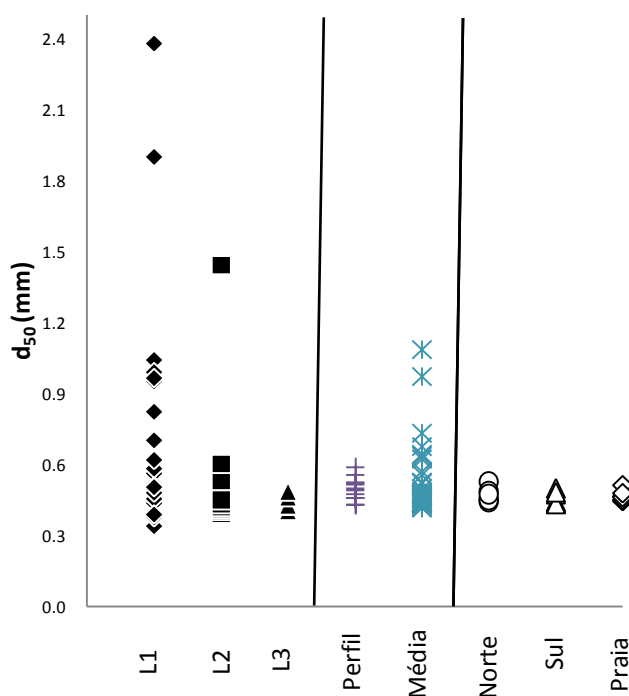


Figura 3 - Dispersão temporal e espacial da granulometria da praia do Areão.

Na figura 3, a representação da dimensão dos sedimentos é efectuada em três conjuntos, sendo o terceiro referente a valores obtidos para a praia a Norte e a Sul do esporão e de toda a praia, o segundo, referente a valores obtidos pela média das três amostras do perfil e à granulometria do Perfil e o primeiro referente aos três alinhamentos da praia L1, L2 e L3.

Relativamente aos valores obtidos para a praia a Norte e a Sul do esporão e para toda a praia, verifica-se a uniformidade de resultados e portanto a uniformidade de todos os sedimentos presentes, o que significa que toda a praia poderia ser caracterizada por um único valor.

Dos valores obtidos entre a granulometria da mistura do perfil e da média das três amostras do perfil, ponderou-se qual a que melhor caracteriza o perfil. Apesar de bastante semelhantes, optou-se por utilizar os valores com menor dispersão, obtidos para a granulometria composta pela mistura das amostras (Perfil).

Do restante conjunto de valores que é visível na figura 3, a granulometria da base da duna, L3, apresenta uma grande uniformidade ao longo do tempo. Os valores obtidos em L1 e L2 apresentam alguma semelhança em termos de variação temporal, com maior dispersão em L1. Sendo a zona correspondente ao alinhamento L1 a que se encontra mais exposta ao clima de agitação, foram adoptados estes valores para as análises seguintes.

Em suma, os valores da dimensão das areias a considerar nos estudos seguintes são apresentados na tabela seguinte e correspondem a uma hipótese de granulometria mais variável

(alinhamento L1), em função eventualmente do clima energético do mar e uma granulometria mais constante e com menor resposta a variações no clima de agitação e variações do perfil transversal.

Tabela 6 - Diâmetro médio das areias adoptado para caracterizar os perfis da praia do Areão.

	d₅₀ (mm) - L1						d₅₀ (mm) - Perfil					
	PN100	PN300	PN500	PS100	PS300	PS500	PN100	PN300	PN500	PS100	PS300	PS500
Nov	0.43	0.44	0.50	0.34	0.44	2.38	0.43	0.44	0.46	0.46	0.41	0.50
Dez	0.56	0.52	0.45	0.43	0.45	0.50	0.47	0.45	0.44	0.40	0.43	0.46
Jan	0.47	0.52	0.52	0.38	0.44	1.90	0.46	0.46	0.45	0.44	0.44	0.59
Fev	1.04	0.99	0.97	0.56	0.70	0.58	0.56	0.52	0.50	0.46	0.48	0.52
Mar	0.49	0.52	0.82	0.48	0.46	0.39	0.49	0.47	0.52	0.44	0.43	0.43
Abr	0.95	0.48	0.47	0.51	0.48	0.62	0.52	0.46	0.45	0.47	0.46	0.51

3.2 Clima de agitação

Com objectivo de caracterizar o clima de agitação durante o período de monitorização do troço costeiro em estudo, foram recolhidos dados relativos ao clima de agitação através do sítio da Internet do Instituto Hidrográfico (IH). Estes dados são disponibilizados diariamente, com registos de 10 em 10 minutos, perfazendo um total de 144 registos diários correspondentes às bóias que o IH dispõe em Leixões, Sines e Faro.

Os dados disponibilizados são relativos à altura de onda significativa, H_0 (m), à altura máxima da onda, $H_{0,max}$ (m), ao período significativo, T_0 (s), ao período máximo, $T_{0,max}$ (s), à direcção da onda, segundo quadrantes de 22.5 graus e à temperatura (°C). Para este trabalho, foram registados ao longo de seis meses os dados obtidos a partir da bóia de Leixões, referentes à altura de onda significativa ao respectivo período e à direcção da onda.

A informação recolhida foi organizada por períodos de tempo que precedem as datas de cada campanha. Dividiram-se os períodos de tempo que antecederam as campanhas em intervalos de 1, 5, 15 e 30 dias. A recolha de informação teve início a 31 de Outubro de 2007 terminando a 8 de Abril de 2008. A contagem do número de registos em cada período encontra-se na tabela 7.

Na tabela 7, são apresentados os números de registos obtidos e a relação com o número potencial de registo máximos. Na generalidade não se conseguiu caracterizar todo o período antecedente às campanhas ou por inoperacionalidade da bóia, ou por impossibilidade de aceder à informação na página do IH. A campanha que ficou pior caracterizada foi a primeira, com menos de 40% de registos para 1 dia e 30 dias antes de 14 de Novembro.

Tabela 7 - Número de registos recolhidos do IH, para diferentes períodos de tempo precedentes à data das campanhas.

Data da campanha	Número de dias antes da campanha							
	1 dia	%	5 dias	%	15 dias	%	30 dias	%
14/11/2007	34	23.6	535	74.3	1460	67.6	1460	33.8
12/12/2007	124	86.1	516	71.7	874	40.5	1824	42.2
09/01/2008	132	91.7	683	94.9	1474	68.2	2708	62.7
13/02/2008	135	93.8	640	88.9	1802	83.4	2896	67.0
12/03/2008	134	93.1	639	88.8	1613	74.7	3399	78.7
09/04/2008	116	80.6	628	87.2	1731	80.1	3440	79.6
Nº. máximo de registos possível	144		720		2160		4320	

3.2.1 Clima de agitação ao largo

Dos dados obtidos foi realizada uma análise relativamente aos valores do período significativo, T_0 (s), altura de onda significativa H_0 (m) e direcção da onda. Dos dados referentes a T_0 (s) e a H_0 (m), foi efectuada a média para os diferentes períodos precedentes às datas da campanha e para os dados relativos à direcção da onda foi efectuada a moda dos valores. Assim, foi possível chegar aos valores da tabela seguinte.

Tabela 8 - Dados da agitação na bóia de Leixões.

	Média								Moda			
	H_s (m)				T_s (s)				Direcção da onda			
	1 dia	5 dias	15 dias	30 dias	1 dia	5 dias	15 dias	30 dias	1 dia	5 dias	15 dias	30 dias
Nov	0.72	0.85	0.86	0.86	5.14	6.62	6.84	6.84	WNW	NW	NW	NW
Dez	0.49	3.71	3.62	2.32	8.88	9.63	9.91	7.76	NW	NW	NW	NW
Jan	2.51	3.61	3.41	2.93	8.6	9.27	9.16	9.05	NW	NW	NW	NW
Fev	1.69	1.67	2.3	2.64	10.66	10.03	8.94	8.97	WNW	NW	NW	NW
Mar	5.54	3.63	2.9	2.24	11.09	8.68	8.17	8.46	NW	NW	NW	NW
Abr	3.01	1.42	2.22	2.54	7.13	6.51	7.45	7.8	SW	NW	NW	NW

A partir dos valores obtidos, verifica-se que relativamente à altura de onda e ao período de onda, há uma grande variação nos valores ao longo dos seis meses, nomeadamente para tempos antecedentes às campanhas de 1 dia e 5 dias, verificando-se nos períodos mais longos, de 15 e 30 dias, maior uniformidade na média dos valores. No que respeita a dados relativos à direcção das ondas, registou-se que a direcção dominante é a de Noroeste (NW).

Coelho (2005) agrupou registos de altura de onda significativa (dados do IH para a bóia de Leixões, recolhidos entre 1981 e 2003) em classes de um metro com intervalos abertos à

esquerda e a direita. Assim para o registo ao longo de 22 anos, Coelho, constatou que se verificavam diferenças significativas nos registos dos meses de Inverno, quando comparados com os meses de Verão.

Nesses dados, nos meses de Verão, a média dos valores de altura significativa desce, não se verificando nenhum registo com valores superiores a 4.5 m para os meses de Junho, Julho e Agosto. Da análise da altura de onda significativa, para os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, os registos inferiores a 1.5 m representam cerca de 20% do total de registos do próprio mês, enquanto para os meses de Julho e Agosto ultrapassam os 70%. O número de registos nas duas primeiras classes (até 1.5 m de altura significativa), correspondem a 41.3% do total dos registos. Em termos totais de registos, as maiores percentagens foram obtidas para alturas de onda compreendidas entre 0.5 m e 1.5 m (40.3%), entre 1.5 m e 2.5 m (31.7%) e entre 2.5 m e 3.5 m (13.3%).

Em termos gerais, os dados recolhidos entre Novembro de 2007 e Abril de 2008, correspondem a alturas de onda significativa menores que 1 metro em 16.1% e 1.4% para alturas de onda superiores a 6 metros. A maior frequência foi obtida para altura de ondas compreendidas no intervalo de 1 a 2 metros com 29.4%. No entanto, para altura de ondas compreendidas nos intervalos 2 a 3 metros e 3 a 6 metros, a frequência registada foi elevada, respectivamente, 27.9% e 25.2%.

Desta forma, comparativamente com a análise elaborada por Coelho (2005), verifica-se que o período em estudo é caracterizado por um clima de agitação com alturas de onda significativa elevado.

No tratamento da informação relativa aos rumos, foram definidas várias classes correspondentes a sectores de 22.5° , centrados na direcção que dá nome à classe, como se visualiza na figura 4.

Nos dados recolhidos entre Novembro de 2007 e Abril de 2008, pode verificar-se que entre NNW e WNW, há evidente predominância de origem da ondulação, com 93% dos registos a situarem-se no intervalo de 11.25° a 78.75° com o Norte (sentido oposto ao dos ponteiros do relógio). O sector NW representa 55% do total de registos de rumos. A classe de direcção da ondulação de Oeste corresponde a 4% dos registos. Todas as ondas com proveniência entre WSW e SSW representam 5%.

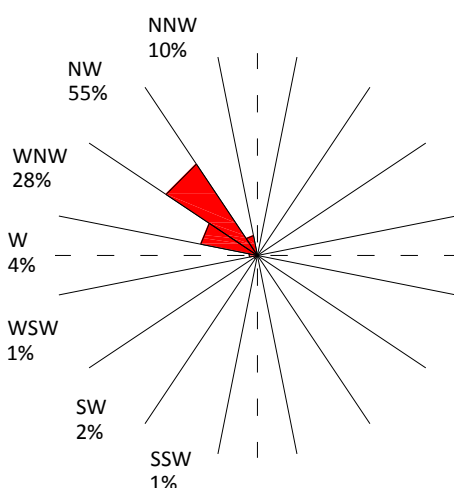


Figura 4 - Representação da direcção de ondulação (dados do IH para a bóia de Leixões, recolhidos entre Novembro de 2007 e Abril de 2008).

Coelho (2005), da análise de dados do IH para a bóia de Leixões, recolhidos entre 1993 e 2003, verificou uma predominância da ondulação proveniente do quadrante Noroeste com 88.4% a situarem-se no intervalo de 11.25° a 78.75° . A maior frequência provém do sector NW, registando 42.4% do total de registos, seguido do sector WNW com 33.9% e 12.1% para o sector NNW. A direcção de ondulação Oeste correspondeu a 7.7% dos registos. Os dados obtidos durante os 6 meses deste trabalho aproxima-se dos valores apresentados por Coelho (2005).

3.2.2 Clima de agitação na rebentação

Os dados da tabela 8, correspondem a valores obtidos na bóia ao largo de Leixões, não correspondendo assim, a dados que se registariam junto à praia em estudo. Desta forma, foi realizada uma correcção dos valores da altura de onda relacionada com os efeitos da propagação da onda, de modo a obter a altura na rebentação, H_b (m), para a extensão da praia em estudo. Procedeu-se à propagação das ondas médias, segundo cada um dos diferentes tempos antecedentes às campanhas.

Modelos numéricos permitem proceder à transformação da agitação ao largo até à linha de costa. A lei de Snell permite a correcção dos valores obtidos ao largo, tendo como pressupostos que a variação da topografia é gradual e que é válida a teoria das ondas sinusoidais (Airy), sendo constante o período da onda desde o largo até à costa. Este processo permite a transformação das características da onda na sua propagação desde o largo até à costa por efeito da refacção. Neste trabalho apenas se tomou em consideração o efeito dos fenómenos do empolamento e da refacção.

3.2.2.1 Fenómenos de alteração da agitação na propagação

Durante a sua propagação para a costa, a onda sofre diversos fenómenos tais como o empolamento, a refacção, a difracção e a rebentação. Procede-se a uma breve descrição destes fenómenos, que determinam as alterações da onda.

Empolamento

Quando uma onda se aproxima de uma praia com uma incidência perpendicular, o seu comprimento de onda vai diminuindo como consequência da diminuição da velocidade de propagação, ao mesmo tempo que a sua altura vai aumentando. Este fenómeno deve-se essencialmente à diminuição das profundidades e é designado de empolamento (Coelho 2005). Este fenómeno é quantificado a partir do coeficiente K_s , determinados pela equação seguinte:

$$K_s = \frac{\cosh \frac{2\pi d_b}{L_b}}{\sqrt{\cosh \frac{2\pi d_b}{L_b} \sinh \frac{2\pi d_b}{L_b} + \cosh \frac{2\pi d_b}{L_b}}} \quad (3.1)$$

Refacção

Ao aproximar-se da linha de costa a onda sofre efeitos resultantes da diminuição da profundidade. À medida que a onda entra em profundidade intermédias, a celeridade e o comprimento de onda diminuem e a sua altura aumenta, mantendo-se apenas o período constante. Uma vez que os pontos da onda, em águas mais profundas, têm celeridade superior à dos pontos mais próximos da costa, a variação da velocidade de deslocamento obrigará à rotação e encurvamento da crista da onda que tende a tornar-se paralela à linha de costa. Este efeito de rotação que a crista de onda sofre por efeito de atrito é designado por refacção.

Desta forma, para o processo de cálculo da altura de onda na rebentação, é aplicada uma teoria simples da refacção da onda, ou seja, a linha de crista de uma onda ao largo forma um determinado ângulo com as curvas de nível do fundo do mar (batimétricas), a onda sofre uma deformação tentando alinha-se com as curvas de nível de fundo, tomando-se para a definição da propagação da onda os pressupostos de Snell já referidos.

Assim, para o cálculo de H_b , é necessário conhecer o comprimento de onda ao largo, dado pela equação 3.2. O comprimento da onda no local, L_b , equação 3.3, depende da profundidade de rebentação da onda, d_b , que pode ser obtida de acordo com a expressão 3.7, sendo calculado com o recurso a um processo iterativo (equação implícita).

$$L_0 = \frac{gT_0^2}{2\pi} \quad (3.2)$$

$$L_b = L_0 \tanh\left(\frac{2\pi \times d_b}{L_b}\right) \quad (3.3)$$

O conhecimento da orientação da onda ao largo, α_0 , foi obtido em função dos dados recolhidos no IH, e do pressuposto que a linha de costa da zona em estudo (500 m a Norte e a Sul do esporão do Areão), faz um ângulo de 15 graus com o Norte, de acordo como ilustrado na figura 5.



Figura 5 - Ângulo que a linha de costa da zona em estudo faz com a direcção Norte.

Com o conhecimento da orientação da onda ao largo é possível calcular a direcção da onda na rebentação, α_b , obtida pela expressão seguinte:

$$\frac{\sin(\alpha_b)}{L_b} = \frac{\sin(\alpha_0)}{L_0} \quad (3.4)$$

Assim, as características das ondas na rebentação obrigam ao conhecimento de três grandezas, a altura de onda, a profundidade de rebentação e o ângulo da crista da onda. Após a determinação de α_b , por aplicação da equação de refração das ondas (lei de Snell), e conhecida a

profundidade de rebentação, determinou-se a altura de onda na rebentação através do conhecimento e aplicação de dois coeficientes à altura de onda ao largo. O coeficiente de empolamento, K_s , que resulta da expressão 3.1, e o coeficiente de refração, K_r , determinado pela seguinte equação:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b}} \quad (3.5)$$

Assim, a altura de onda na rebentação, H_b , depende da altura de onda ao largo, afectada pelos efeitos de redução de profundidade K_s , e de refração K_r . Constatou-se que o fenómeno que maior influência tem na transformação da onda do largo até à costa, é o empolamento, com K_s a obter valores na ordem de 1.10 e K_r , valores na ordem de 0.95. Assim, H_b pode ser obtida pela expressão 3.6, tornando possível obter os valores apresentados na tabela 9, para os diferentes períodos de tempo precedentes às campanhas.

$$H_b = K_s K_r H_0 \quad (3.6)$$

Tabela 9 - Resultados da transformação da onda, na sua propagação até à rebentação.

	H_b (m)				α_0 (graus)				α_b (graus)			
	1 dia	5 dias	15 dias	30 dias	1 dia	5 dias	15 dias	30 dias	1 dia	5 dias	15 dias	30 dias
Nov	0.83	1.06	1.06	1.06	20.07	22.60	29.74	29.74	7.21	6.88	8.67	8.67
Dez	0.77	3.93	3.92	2.50	31.27	25.42	23.49	22.35	5.30	10.85	9.69	9.44
Jan	2.73	3.84	3.66	3.25	26.93	21.50	20.08	16.84	10.61	9.47	8.74	6.93
Fev	2.31	2.17	2.65	2.97	6.50	18.05	19.35	18.45	1.78	5.13	7.17	7.28
Mar	5.65	3.65	2.99	2.53	30.00	30.28	28.69	20.96	13.40	13.96	12.63	8.05
Abr	2.52	1.62	2.41	2.70	52.82	6.58	16.61	22.21	24.73	2.65	7.21	9.74

Da comparação dos resultados obtidos após a transformação da onda na sua propagação até à rebentação, com os valores obtidos ao largo não se verifica grande variação de valores, no entanto resultam alturas superiores, à excepção do valor obtido para 1 dia antes da campanha de Abril. Relativamente aos resultados obtidos para a orientação da crista da onda, os valores obtidos para o largo são naturalmente superiores aos obtidos na rebentação.

Os valores apresentados na tabela 9 caracterizam assim o clima de agitação na rebentação e foram utilizados na definição de alguns parâmetros e na comparação de comportamentos relacionadas com a granulometria e inclinação dos perfis, na tentativa de encontrar alguma correlação ou comportamento padrão.

Difracção

Difracção é o fenómeno relacionado com variações súbitas das condições de propagação da onda provocadas por obstáculos, como por exemplo, ilhas ou quebramares. Quando o fenómeno da difracção ocorre a onda, contorna o obstáculo, penetrando na zona protegida. O caso de uma baía protegida por um promontório abrupto ou de um porto protegido por um quebramar (figura 6) são exemplos comuns de zonas abrigadas ou parcialmente abrigadas. A formação de tômbolos por deposição de sedimentos na sombra de quebramares destacados é também consequência do fenómeno de difracção. De facto, neste processo está associada uma transferência lateral de energia ao longo da crista da onda, no sentido da zona exposta directamente à acção da onda para a zona abrigada. Assim, estas zonas não permanecem calmas, mas as ondas que aí penetram, sofrem alteração das suas características. O estudo do problema da difracção é complexo e depende do ângulo de incidência das ondas em relação ao obstáculo.

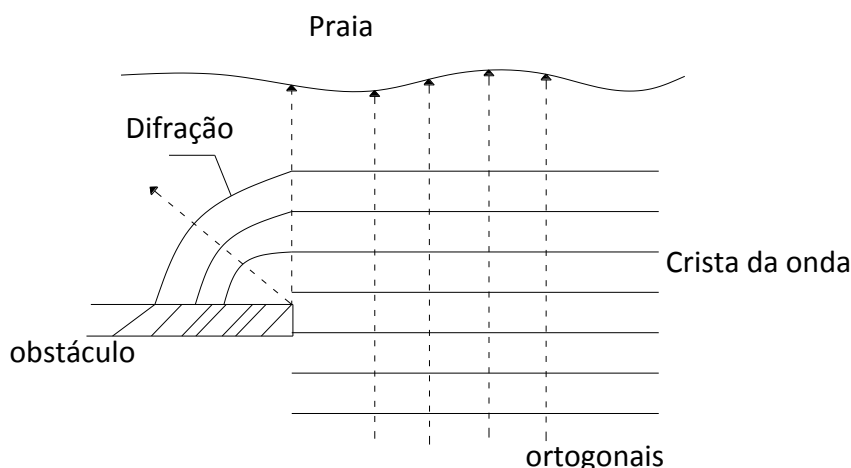


Figura 6 - Esquema ilustrativo do fenómeno de difracção.

Como já referido neste trabalho, os fenómenos avaliados na determinação da transformação da onda do largo até à costa, são apenas a refacção e o empolamento. A difracção não foi considerada, apesar da existência de um esporão na zona em estudo, que poderia influenciar no cálculo da altura de onda na rebentação, nomeadamente no perfil PS100 (para as ondas provenientes de Noroeste). Este fenómeno foi desprezado, permitindo considerar a altura de onda na rebentação igual em toda a extensão de praia em estudo, uma vez que foi considerado que toda a praia tem a mesma orientação da linha de costa e porque a batimetria foi considerada regular, o que representa duas simplificações de cálculo.

Rebentação

Quando as ondas entram em águas pouco profundas, a altura da onda diminui ligeiramente, mas a determinado momento, a altura da onda aumenta rapidamente - empolamento. Isto acontece porque o comprimento da onda diminui e a onda vai ficando 'apertada' entre as ondas vizinhas. Na situação em que a altura aumenta e o comprimento diminui, a declividade da onda (H/L) atinge valores elevados e a onda torna-se instável, dando-se a rebentação.

Na expressão 3.7, d_b representa uma estimativa da profundidade da rebentação. Este parâmetro, entre outros, é dependente da inclinação dos fundos e do comprimento de onda, pelo que é alvo de numerosos estudos, no entanto, esta aproximação é utilizada com frequência em aplicações da engenharia costeira (Coelho, 2005).

$$d_b = \frac{H_0}{0.78} \quad (3.7)$$

A observação mostra também que a rebentação pode dar-se segundo tipos fundamentais muito diferentes, tendo grande influência nalguns dos fenómenos em estudo. Assim, é habitual considerar e interessa distinguir os casos típicos de rebentação progressiva, rebentação mergulhante e rebentação oscilatória ou oscilante. A determinação do tipo de rebentação faz-se normalmente por recurso ao parâmetro de Battjes (ξ_0), também utilizado por Iribarren, que permite estabelecer as gamas de ocorrência dos diversos tipos de rebentação, relacionados com o tipo de comportamento da praia. Este parâmetro combina o declive da praia com a declividade da onda. A caracterização do tipo de rebentação é apresentada em pormenor no capítulo 6.

3.3 Perfil transversal

Para uma boa interpretação das alterações do perfil transversal, é fundamental definir um esquema morfológico do perfil de uma praia. Assim foram definidos conceitos relativos às dinâmicas da rebentação em cada uma das zonas do perfil.

3.3.1 Definição e limites de uma praia

A actual linha de costa resulta da última idade do Gelo, que terminou à cerca de 10 000 anos. Nessa altura, a massa de gelo que cobria uma grande extensão da Terra, maior do que a presente hoje em dia, foi derretendo e aumentando o nível da água do mar. A vasta quantidade de sedimentos que se encontrava nas praias fora arrastada pelos rios. A maior parte das praias de hoje são compostas por areia e cascalho, provenientes dessa altura. Alguns desses sedimentos têm origem a partir da erosão das costas e pequenas arribas, mas as praias são continuamente alimentadas pelos rios (Reeve et al., 2004).

Segundo Komar (1976), a praia como uma acumulação de sedimentos não consolidados (areia ou cascalho), é a zona que se estende do limite médio de maré baixa até alguma mudança fisiográfica como um rochedo, campo de dunas ou uma vegetação permanente. O termo litoral é mais abrangente, incluindo, além da porção emersa descrita acima, também a porção submersa até uma profundidade onde os sedimentos são menos transportados activamente pelas ondas superficiais. Esta profundidade é imprecisa, sendo designada como a profundidade de fecho.

A figura seguinte, ilustra a terminologia usada para o perfil de uma praia.

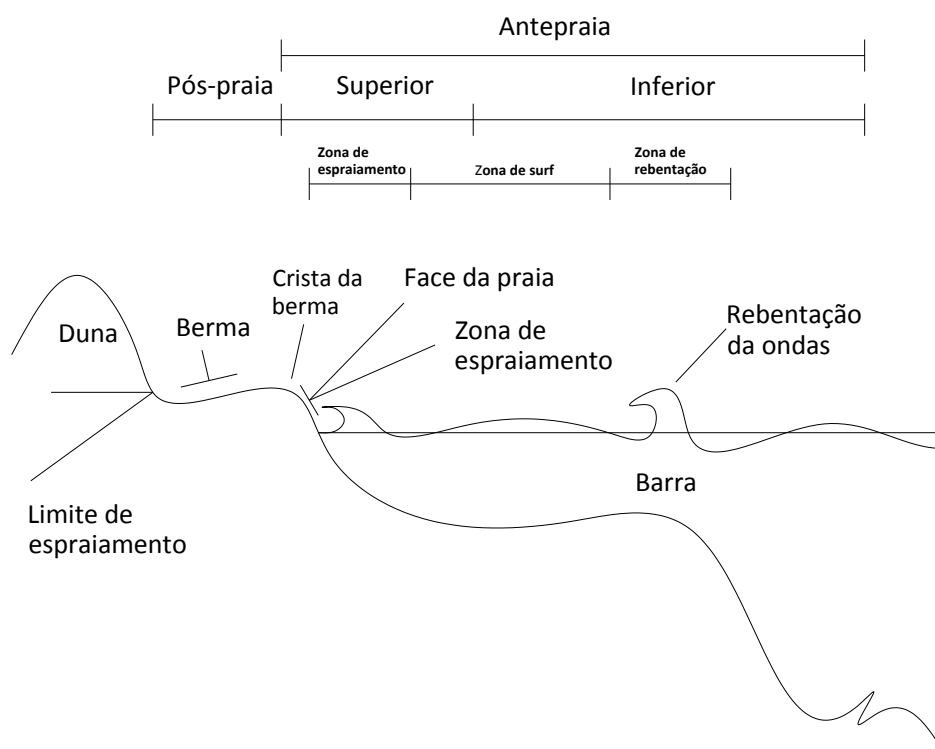


Figura 7 - Diagrama geral do perfil de praia.

3.3.1.1 Zona morfológica

Morfológicamente, a praia pode ser dividida em pós-praia e antepraia.

A pós-praia (*Backshore*) define-se como a parte da praia coberta pela água apenas durante as tempestades e que, conseqüentemente, está acima do nível da preia-mar. Esta região é constituída por uma porção praticamente plana, de inclinação suave denominada por berma. Algumas praias possuem mais de uma berma em níveis levemente diferentes, separados por uma escarpa. A zona de pós-praia é limitada por uma mudança abrupta na inclinação na crista da berma.

O termo antepraia superior (*Foreshore*) é limitado pela altura máxima de preia-mar e pela mínima de baixa-mar. É nesta zona inclinada da face da praia que ocorre o espraimento das ondas.

A zona descrita como antepraia inferior (*Nearshore*) é caracterizada por uma parte do perfil submerso, entre o nível de maré baixa até aos bancos de areia (barra).

A barra longitudinal é definida como o cume de areia estendido paralelamente à costa que poderá ficar exposto em caso de baixa-mar. Poderá existir mais que uma barra a profundidades diferentes (Komar, 1976).

É também definido por Komar (1976), uma zona (não representada na figura), após a antepraia inferior como, offshore, zona mais distante da linha de costa.

3.3.1.2 Zona hidrodinâmica

A zona hidrodinâmica caracteriza-se pelo clima de ondas podendo ser dividida em zona de espraimento, zona de surf e zona de rebentação.

A zona de empolamento (*Shoaling*), pode ser definida como a zona limite onde as ondas começam a interagir com o fundo a nível de transporte sedimentar significativo e a zona de rebentação. Esta zona limite, pode ser definida pela profundidade de fecho (Short, 1999).

Ao aproximar-se de águas progressivamente mais rasas, as ondas incidentes tendem a destabilizar-se até um ponto no qual quebrarão. A zona de rebentação (*Breaker Zone*) é a porção do perfil da praia caracterizada pela ocorrência deste processo.

A presença da zona de surf (*Surf Zone*), estende-se desde a zona de rebentação até a zona de espraimento. É a mais variável das três zonas (espraimento, surf e empolamento) e é influenciada pelas marés (Short, 1999).

A zona de espraimento (*Swash Zone*) pode ser explicada como sendo a região de acção das ondas na praia, estendendo-se na face da praia.

3.3.2 Inclinação do perfil transversal

Ao longo da extensão da praia os perfis transversais podem apresentar geometrias muito irregulares e variáveis no tempo, tornando-se difícil definir qual o declive que a caracteriza. Este parâmetro não está definido de forma normalizada e daí, todos os estudos que dependem da inclinação da praia apresentam alguma disparidade de valores.

Neste trabalho, foram realizadas campanhas de modo a perceber que factores teriam maior influência na alteração da geometria da praia. Como já foi referido, a monitorização dos perfis da

zona emersa da praia, permitem uma análise da inclinação da praia. Os perfis recolhidos são apresentados em anexo (anexo 1).

De acordo com Coelho (2005), Huges e Turner indicavam em 1999, que as características da praia podem ser adoptadas em qualquer localização, como a zona entre marés, ou mais frequentemente a interpolação linear dos valores desde a linha de costa em baixa-mar e a crista da berma ou a base da duna. Ainda de acordo com Coelho (2005), Ferreira em 1998, refere que a face da praia localiza-se na zona de transição entre a praia emersa e a praia submersa, correspondendo à área afectada pelo espraiado da onda no decurso do ciclo da maré. Esta coincidirá frequentemente com a extensão de praia que se estende desde o nível mais baixo atingido pela maré, até à crista da berma.

Perante a falta de um critério normalizado na definição e pretendendo estudar também a variação deste parâmetro em termos espaciais e temporais, com os dados da topografia recolhidos ao longo das campanhas de campo desenvolveram-se algumas hipóteses de determinação da inclinação dos perfis transversais. As hipóteses analisadas foram as seguintes:

- a) inclinação entre o ponto da linha de costa em baixa-mar e a crista da berma;
- b) inclinação entre o ponto da linha de costa em baixa-mar e a base da duna;
- c) inclinação correspondente à interpolação linear dos pontos do perfil;
- d) inclinação correspondente à interpolação linear dos pontos do perfil até a base da duna, impondo o início no ponto da linha de costa em baixa-mar;
- e) inclinação entre as cotas +2.0 e +4.0 m (ZH).

Foi realizada a distribuição dos valores obtidos ao longo do tempo segundo cada uma das hipóteses. Assim, da análise da figura 8, verifica-se que independentemente do critério escolhido, as maiores inclinações são nos perfis a Sul, chegando a atingir inclinações próximas dos 25%, no perfil mais a Sul, em Janeiro de 2008. Verifica-se também que a hipótese c), comparativamente com as outras hipóteses, é a que apresenta valores superiores. Isto ocorre, devido ao facto da hipótese c) considerar a interpolação de todos os pontos recolhidos, nomeadamente o último ponto do perfil, correspondente à cota do topo da duna.

Constata-se que para os perfis a Sul, inclinações que resultam das hipóteses a) e b) são na maior parte do tempo coincidentes, devido ao facto da crista da berma coincidir muitas das vezes com a base da duna.

A Norte do esporão as inclinações são pouco variáveis e são em geral menores que 10%. As maiores inclinações obtidas em cada perfil foram para o mês de Novembro, 8.7%, segundo a hipótese e) para o perfil PN500, 7.7% para o mês de Abril segundo a hipótese a) para o perfil

PN300 e segundo a hipótese e) para o perfil PN100, 12.0% no mês de Fevereiro. As menores inclinações verificaram-se para o perfil PN500 segundo a hipótese e), com uma inclinação de 3.6% no mês de Janeiro e para os perfis PN300 e PN100 no mês de Novembro, segundo a hipótese b), com as inclinações de 3.6% e 2.6%, respectivamente.

Relativamente ao lado Sul do esporão há uma maior dispersão de valores e os valores são em geral próximos ou acima de 10%. As maiores inclinações foram registadas para os perfis PS100, 15.2% e PS300, 11.1%, ambos para o mês de Novembro, segundo a hipótese e) e c), respectivamente. O perfil PS500 registou ao longo do período de tempo analisado, valores superiores a todos os outros perfis, onde a maior inclinação foi para mês de Janeiro, 22.0%, segundo a hipótese c). As menores inclinações obtidas em cada perfil foram para o mês de Janeiro, 3.5%, segundo a hipótese d) para o perfil PS100, 5.6% para o mês de Abril segundo a hipótese e) para o perfil PS300 e segundo a hipótese d) para o perfil PS500, 7.1% no mês de Abril.

Na figura 9, é apresentada uma comparação das inclinações obtidas por aplicação de cada hipótese, para cada perfil em cada mês.

Relativamente à figura 9, constata-se que os perfis a Norte tendem a apresentar a mesma inclinação. A variação da inclinação dos perfis PN500 para o PN100 é baixa em qualquer dos meses, o que comparativamente com os perfis a Sul já não se constata. Para os perfis a Sul há uma tendência da inclinação aumentar de PS100 para PS500, verificando-se uma diferença acentuada, nomeadamente nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março.

Todas as hipóteses de cálculo das inclinações apresentam tendências semelhantes, no entanto é de referir que a hipótese e) apresenta maiores variações ao longo dos perfis para cada mês.

Após a análise dos diversos gráficos da figura 8 e 9, consideram apenas duas hipóteses de determinação da inclinação para os restantes estudos. Relativamente às hipóteses c) e d), os resultados obtidos provêm de interpolações, dependendo do maior ou menor número de pontos recolhidos em cada campanha. Para a hipótese c) os valores elevados para a inclinação dos perfis são influenciados pela cota da duna. Ambas as hipóteses não foram consideradas.

Os resultados obtidos pelas hipóteses a) e b), são semelhantes ao longo do tempo e tomam por vezes valores iguais, nomeadamente para os perfis a Sul.

Constatou-se que os valores obtidos para a hipótese e), apresentavam maior variação e dispersão ao longo do tempo, pelo que poderiam ser mais sensíveis à variação de outros parâmetros. Desta forma, os resultados desta hipótese foram considerados.

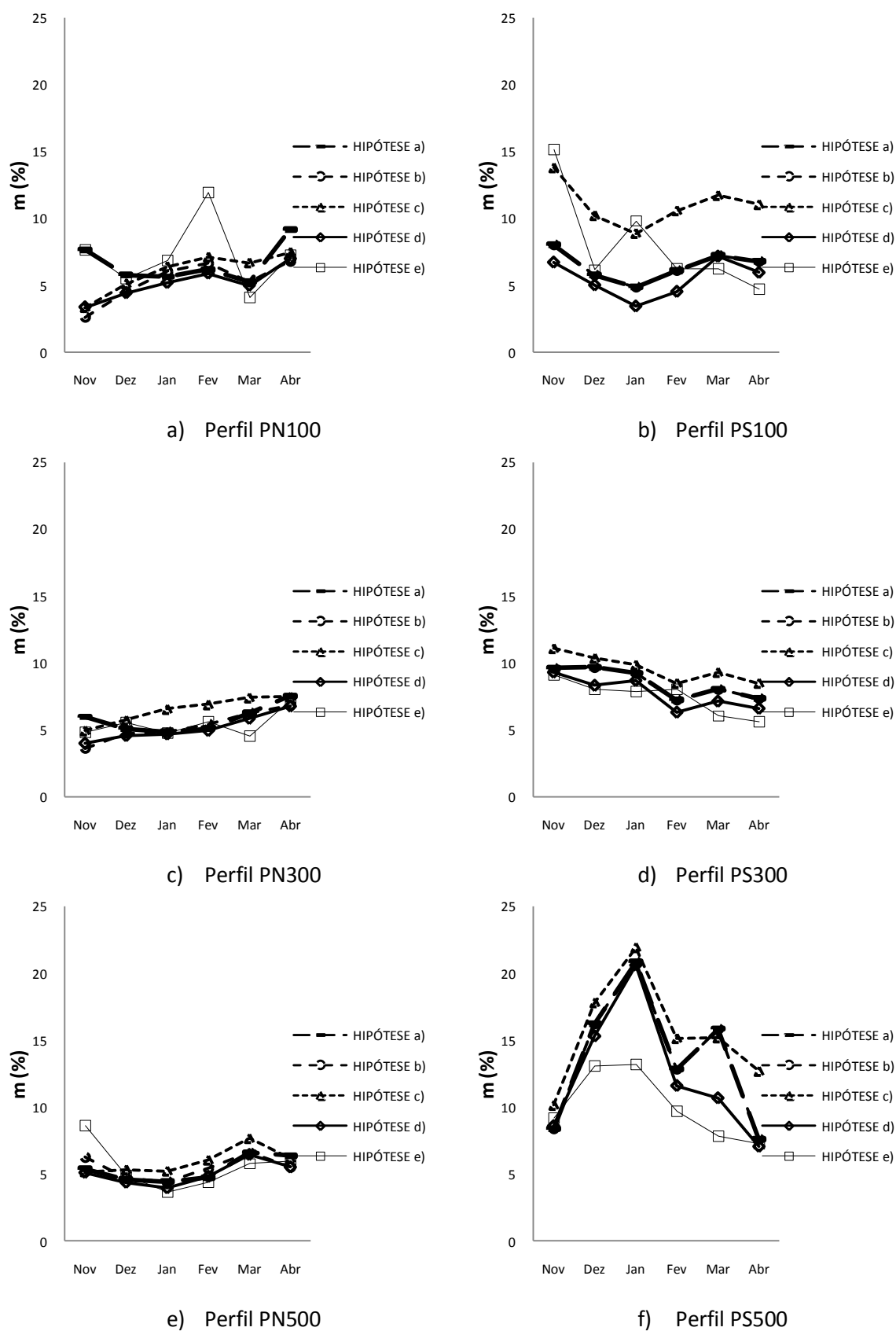


Figura 8 - Inclinação da praia ao longo do tempo.

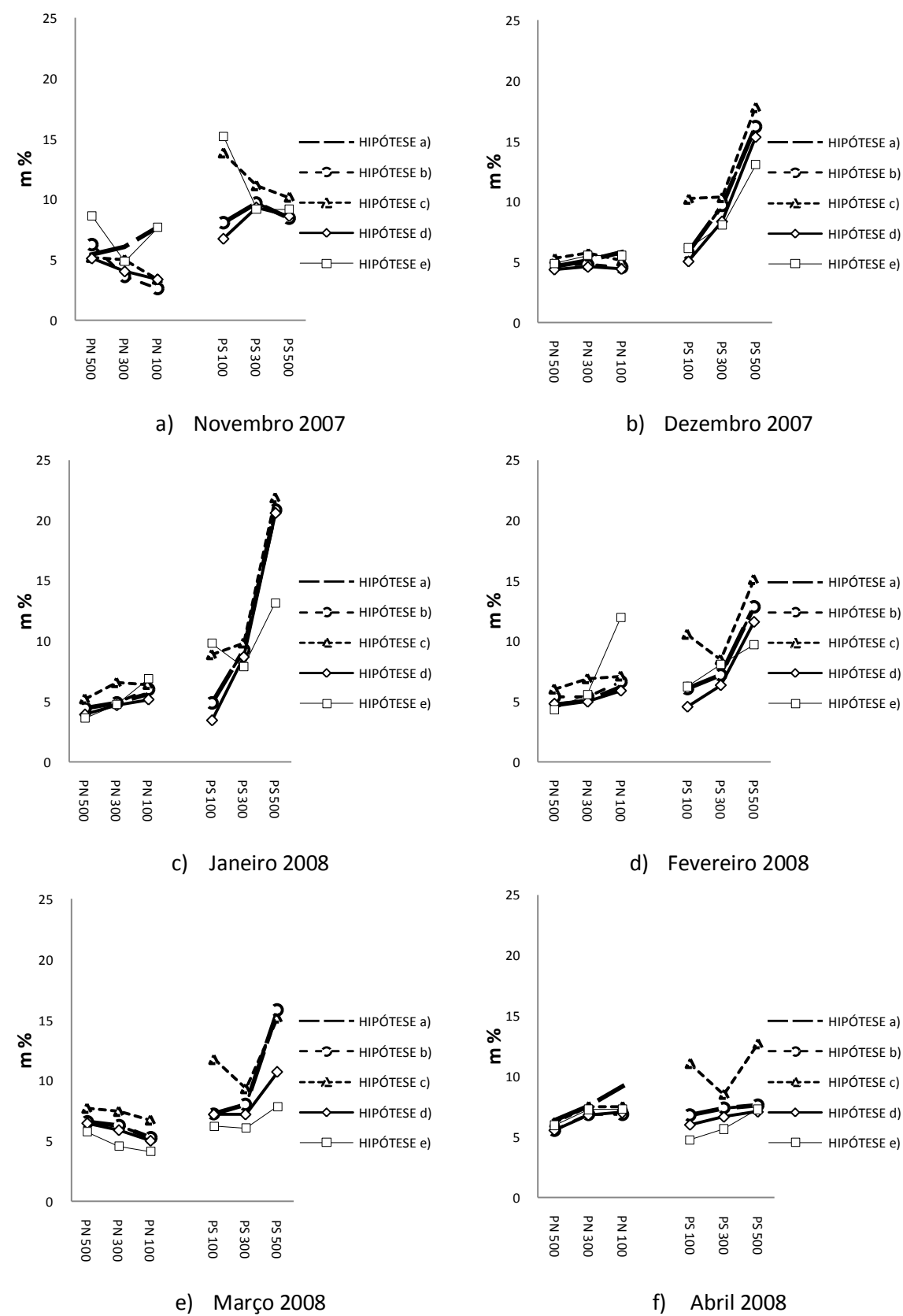


Figura 9 - Inclinação da praia ao longo da sua extensão.

Assim, para o restante trabalho foram considerados os resultados obtidos pelas hipóteses b) e e). Em suma, os valores a considerar para estudo são apresentados na tabela 10 e correspondem a uma hipótese de inclinações mais variável em função eventualmente do clima energético do mar ou granulometria dos sedimentos da praia e uma hipótese mais constante e com menor resposta a variações no clima de agitação ou outros parâmetros.

Tabela 10 - Inclinação dos perfis (%) a considerar para o estudo.

		PN100	PN300	PN500	PS100	PS300	PS500	Média
HIPÓTESE b)	Nov	2.6	3.6	6.3	8.0	9.7	8.4	6.4
	Dez	4.6	4.8	4.7	5.8	9.7	16.2	7.6
	Jan	6.0	4.9	4.4	4.9	9.3	20.8	8.4
	Fev	6.7	5.4	5.4	6.1	7.2	12.8	7.3
	Mar	5.3	6.3	6.6	7.3	8.1	15.9	8.3
	Abr	6.8	6.9	5.5	6.8	7.4	7.6	6.8
	Média	5.3	5.3	5.5	6.5	8.6	13.6	
HIPÓTESE e)	Nov	7.7	4.9	8.6	15.2	9.2	9.2	9.1
	Dez	5.6	5.6	4.9	6.2	8.1	13.1	7.3
	Jan	6.9	4.8	3.6	9.8	7.9	13.2	7.7
	Fev	12.0	5.6	4.4	6.3	8.1	9.7	7.7
	Mar	4.1	4.6	5.8	6.2	6.1	7.9	5.8
	Abr	7.3	7.3	6.0	4.7	5.6	7.3	6.4
	Média	7.3	5.5	5.6	8.1	7.5	10.1	

Da tabela 10, observa-se portanto que as duas hipóteses apresentam inclinações distintas. No entanto, em ambas as hipóteses, o perfil PS500 apresenta inclinações superiores relativamente aos outros perfis. Verifica-se que a hipótese b) varia entre 2.6 e 20.8% e a hipótese e) entre 3.6 e 15.2%.

4 Correlação entre dados

Com base nos dados recolhidos ao longo de seis meses, relativos ao clima de agitação, à dimensão média da areia e à inclinação dos perfis, pretende-se contribuir para a caracterização da praia em estudo, de forma a encontrar relações entre estes ou a desenvolver sempre que seja possível um comportamento padrão. Desta forma, a partir dos resultados obtidos, é feita uma análise comparativa entre estas variáveis para melhor compreensão e relação dos conceitos.

4.1 Relação entre a dimensão dos sedimentos e o clima de agitação

As variações da dimensão dos sedimentos ao longo de um troço costeiro têm suscitado interpretações diversas, na medida em que resultam do efeito combinado de vários factores.

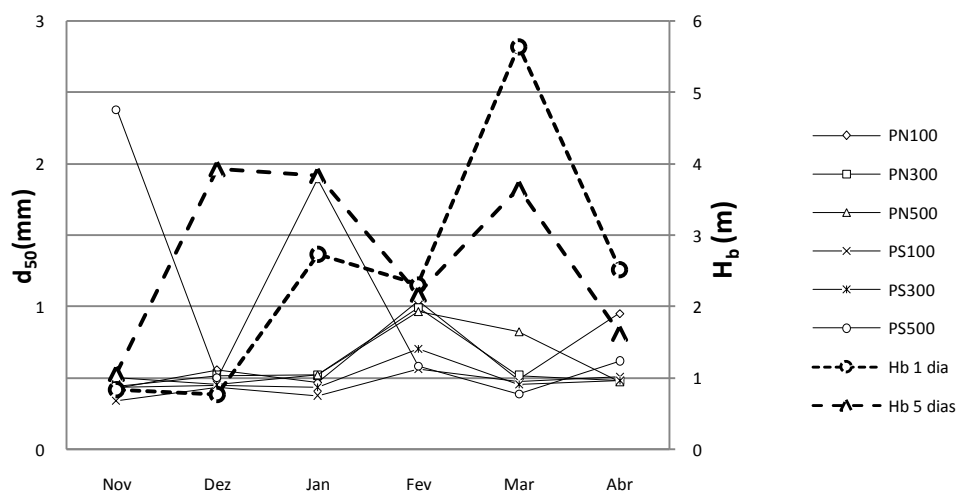
Segundo Short (1999), a altura de onda é relacionada com os sedimentos da praia de forma positiva, ou seja, para climas de agitação energéticos as praias são compostas por sedimentos grosseiros. No entanto, da análise de 430 praias realizadas por Short e Ni, não foram encontradas relações entre estes parâmetros.

De acordo com Pereira (2004), Komar em 1998, aponta condicionantes para a variação da dimensão dos sedimentos, como: a variação da energia e rumo das ondas incidentes; taxas de transporte selectivas e independentes da distribuição granulométrica, sendo os grãos mais finos transportados mais facilmente e rapidamente que o resíduo mais grosseiro e a remoção selectiva dos grãos mais finos no sentido de terra, pelo vento, e em direcção ao mar, pelas ondas.

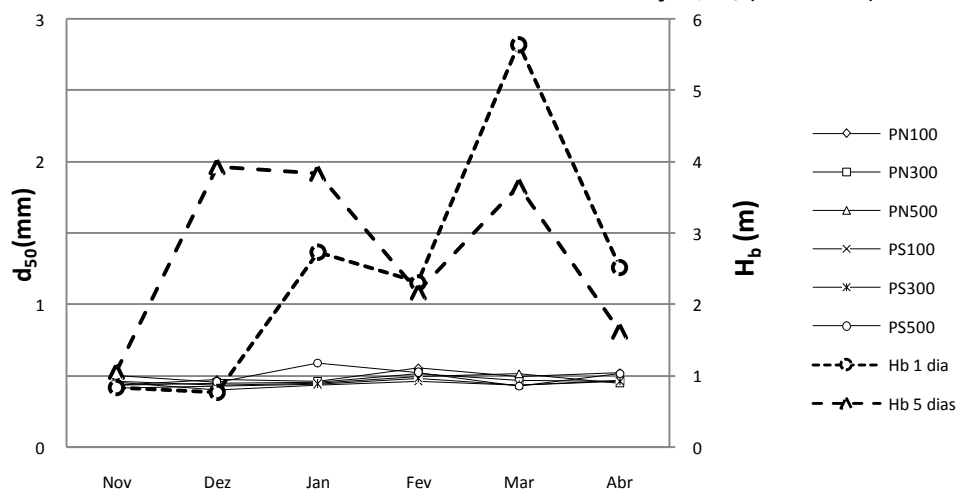
De acordo com Coelho (2005), trabalhos realizados por Pereira em 2000, para a caracterização da granulometria das areias recolhidas na zona entre marés de 10 estações localizadas entre a Costa Nova e Poço da Cruz, referem que na zona de proximidade da praia, em períodos de maior agitação há um enriquecimento de sedimentos mais grosseiros e o diâmetro médio diminui quando a ondulação é mais fraca.

A comparação da altura de onda na rebentação H_b (m) com o diâmetro médio d_{50} , das partículas pretendeu algum tipo de padrão na relação do clima de agitação com os sedimentos.

Na figura 10, compara-se o comportamento da altura de onda na rebentação com os diâmetros obtidos no alinhamento L1 e Perfil, ao longo do tempo e para cada perfil. Não se verifica qualquer tipo de padrão evidente, já que os meses mais energéticos (Março, Dezembro e Janeiro) não estão relacionados com as maiores dimensões dos sedimentos. Verificou-se o mesmo comportamento para H_b (m) referentes a períodos mais longos, de 15 e 30 dias antecedentes às campanhas, quando comparados com o diâmetro médio.



a) Areias do alinhamento L1 vs altura de onda na rebentação, H_b (1 e 5 dias).



b) Areias do Perfil vs altura de onda na rebentação, H_b (1 e 5 dias).

Figura 10 - Relação dos diâmetros médios, d_{50} (mm), com a altura de ondas na rebentação, H_b (m).

Note-se, que o mês de Fevereiro é dos que apresenta maiores dimensões de sedimentos e o clima de agitação que antecedeu esta campanha foi dos mais calmos.

Apesar de não ser encontrada uma correlação entre H_b (m) e d_{50} para as campanhas realizadas, foi elaborada uma análise de modo a perceber como a altura de onda significativa na rebentação influencia o diâmetro das areias recolhidas, sendo apresentado na figura seguinte.

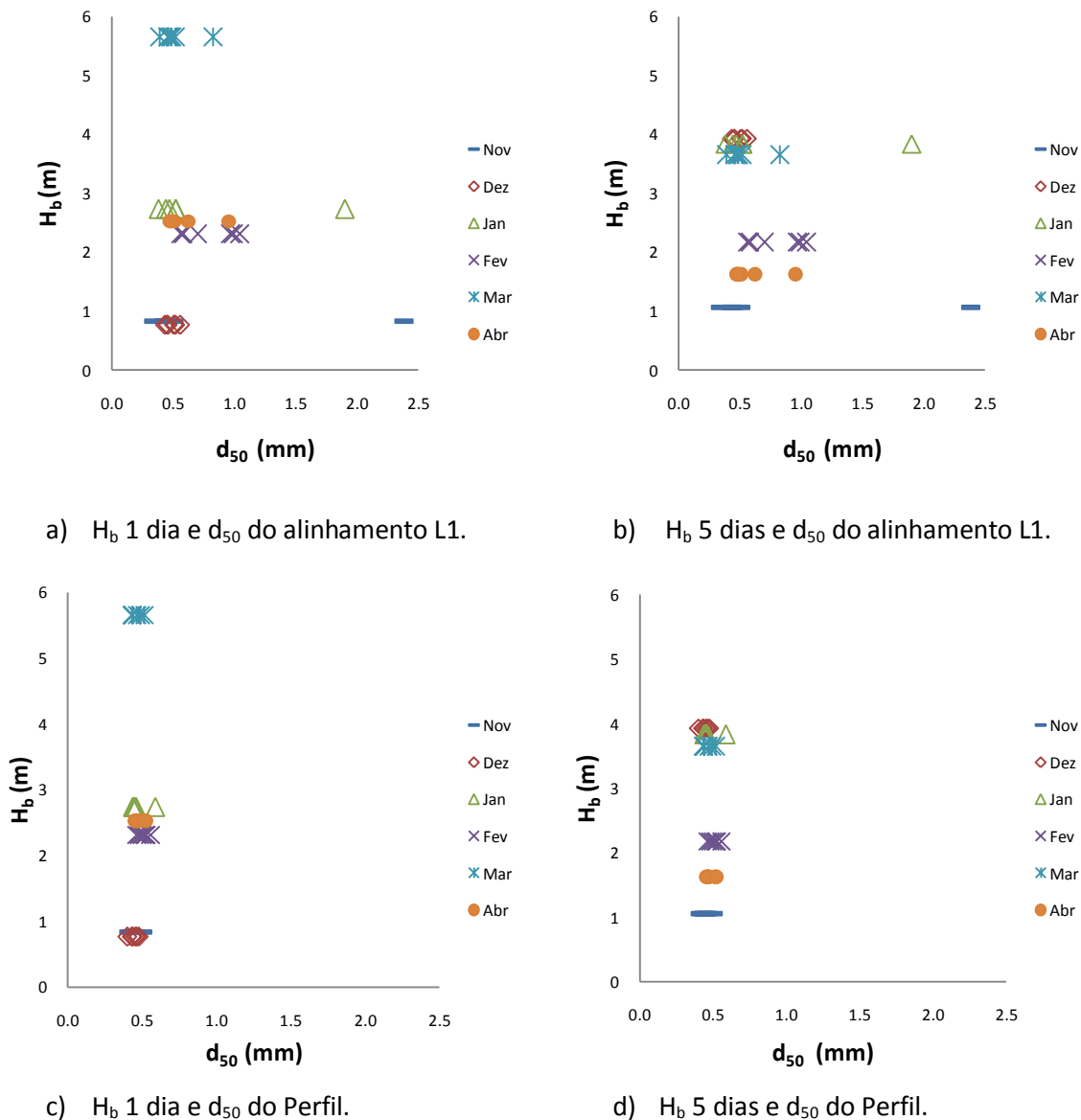


Figura 11 - Relação dos diâmetros das areias com a altura de onda na rebentação.

Desta análise, verifica-se, figura 11 a), que para alturas de onda da ordem dos 6 metros no mês de Março e alturas de onda entre 2 e 3 metros para os meses de Fevereiro e Abril, os valores, obtidos para o diâmetro médio dos sedimentos, variam para ambos os casos, na ordem dos 0.5 a 1.0 mm. Na figura 11 c) e d), constata-se valores da ordem de 0.5 mm, granulometria obtida para o Perfil, enquanto a altura de onda significativa apresenta grande dispersão de valores. Verificou-se o mesmo tipo de comportamento para períodos de tempo antecedentes à campanha iguais a 15 e 30 dias, reflexo da uniformidade de valores da altura de onda.

Ao contrário do que é referido por alguns autores, neste estudo, não se constata que para períodos de maior agitação exista um padrão de sedimentos grosseiros e diminuição do diâmetro médio para ondulações mais fracas.

4.2 Relação entre a inclinação e a dimensão dos sedimentos

A inclinação da face da praia é afectada pela dimensão e grau de calibração dos sedimentos presentes na praia e pelo nível de agitação incidente. Relativamente à dimensão das partículas e grau de calibração, estas características afectam a porosidade e permeabilidade da superfície e portanto a capacidade e velocidade de infiltração da água do mar.

O conceito de perfil de equilíbrio apresentado por Dean em 1977, indica a forma de um perfil estável quando submetido a um determinado regime de onda e uma determinada granulometria. Deste resulta que granulometrias grosseiras definem inclinações de perfis mais inclinados e granulometrias mais finas inclinações suaves (Pasolini, 2005).

Segundo Villaverde (1999), Bagnol em 1940, através de experiencias realizadas em laboratório a pequena escala, estudou a evolução do perfil da praia utilizando sedimentos grosseiros (d_{50} entre 0.5 e 7.0 mm). Descobriu que o declive era independente da altura de onda incidente, relacionando-se principalmente com o diâmetro dos sedimentos.

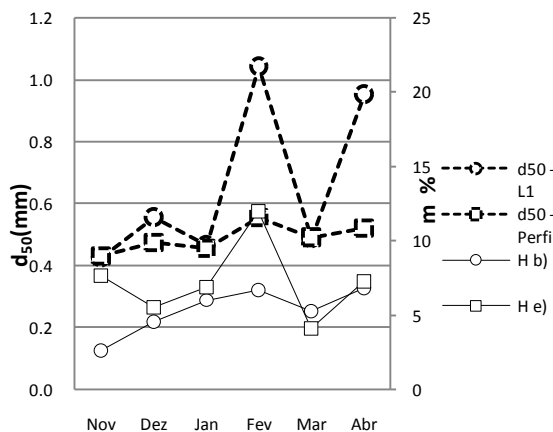
Procurando uma relação entre a inclinação e o diâmetro médio das areias, foi representada a distribuição de cada um destes parâmetros ao longo do tempo. Assim, na figura 12, são comparadas as inclinações obtidas segundo as hipóteses b) e e) e a dimensão do diâmetro médio das areias do alinhamento L1 e do Perfil. Onde “ $d_{50} - L1$ ” e “ $d_{50} - \text{Perfil}$ ” representam o diâmetro médio obtido ao longo do tempo e “ $H b)$ ” e “ $H e)$ ” a inclinação ao longo do tempo segundo as hipóteses b) e e), respectivamente.

Da análise da figura 12, não se constata nenhum padrão marcado. No entanto, verificam-se do lado Norte do esporão linhas de semelhança entre o comportamento da granulometria e a inclinação da praia, enquanto que a Sul verifica-se maior variabilidade entre estes dois factores.

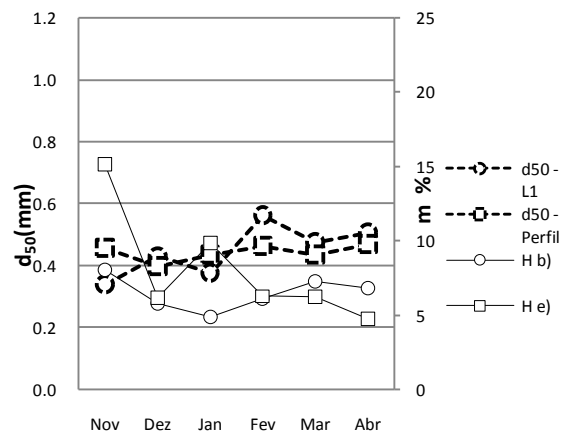
Relativamente ao perfil PN100 é possível notar um comportamento idêntico para o período de Janeiro a Abril entre a inclinação da hipótese e) e o diâmetro médio do alinhamento L1, pois estes valores aumentam e diminuem nos mesmos períodos.

O perfil PN300 evidência um comportamento semelhante entre a inclinação da hipótese e) e a granulometria do Perfil ao longo dos seis meses, já que a variabilidade de valores é similar entre estes dois factores.

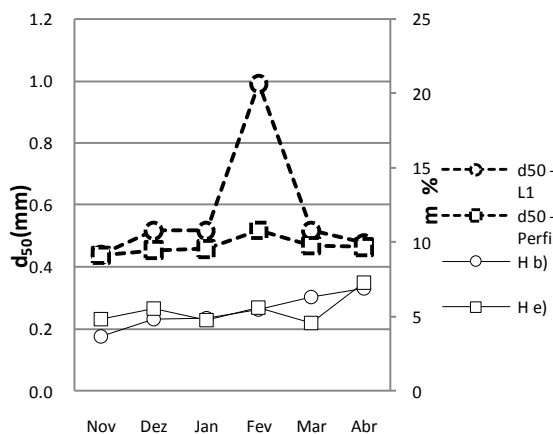
Entre a inclinação da hipótese b) e o diâmetro médio do Perfil, é possível verificar um comportamento idêntico para o perfil PN500 ao longo dos seis meses.



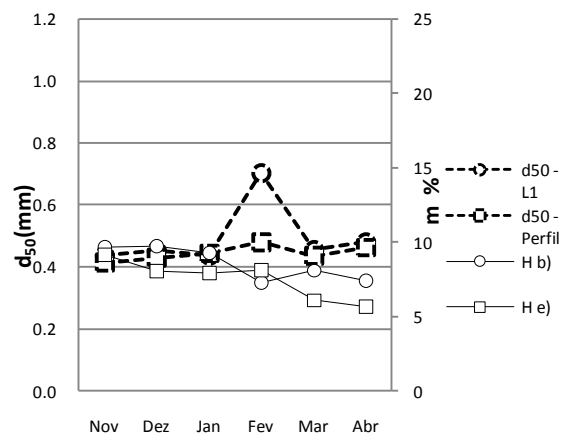
a) Perfil PN100



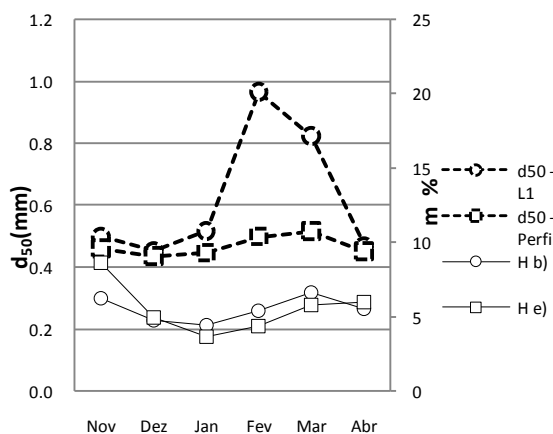
b) Perfil PS100



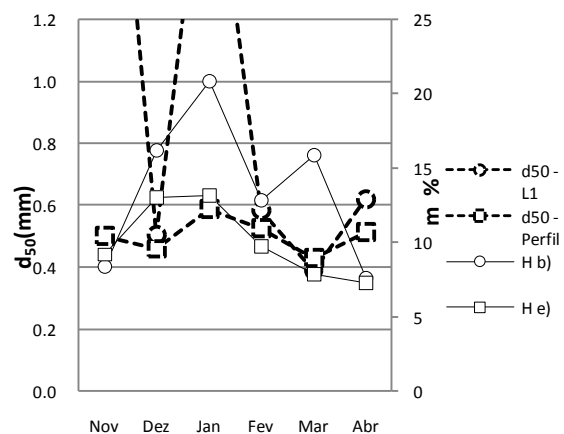
c) Perfil PN300



d) Perfil PS300



e) Perfil PN500



f) Perfil PS500

Figura 12 - Relação entre inclinação e a dimensão das areias, para cada perfil ao longo do tempo.

Para os perfis a Sul há grande variabilidade de valores ao longo do tempo, não se conseguindo identificar um comportamento típico e portanto, por vezes a inclinação aumenta e a dimensão dos sedimentos diminui ou o inverso.

De acordo com Pereira (2004), Bascom em 1951 e Weigel em 1964, discutiram as relações entre o calibre dos sedimentos e o declive da face da praia. O estudo demonstrou que a variação da inclinação da face da praia é função da dimensão do diâmetro médio em praias da Costa Oeste norte-americana, tendo sido encontrada proporcionalidade entre as duas variáveis. Apercebendo-se de que esta relação dependia também do nível de agitação incidente, foi desta forma proposta uma solução característica para “praias expostas de alta energia”. O estudo incluiu também, informação recolhida ao longo da baía de Halfmoon (Califórnia) que se caracteriza por estar parcialmente protegida por um cabo, da agitação incidente de Norte. A diminuição dessa protecção em direcção a Sul acarreta aumento da exposição e da densidade de energia da agitação incidente no mesmo sentido. Em resposta, regista-se um aumento da face da praia ao longo da referida baía, mas que se projecta na figura 13 de forma diferente das situações de equilíbrio.

Weigel em 1964, procedeu a uma abordagem idêntica para praias da Costa Este dos Estados Unidos, definindo uma solução representativa de “praias de baixa energia”.

Segundo Pereira (2004), Komar em 1998, recolheu informação destes dois autores numa solução gráfica onde se apresenta a variação do declive da face da praia em função do diâmetro médio para os sedimentos da face de praia, figura 13, em contextos de alta e baixa energia.

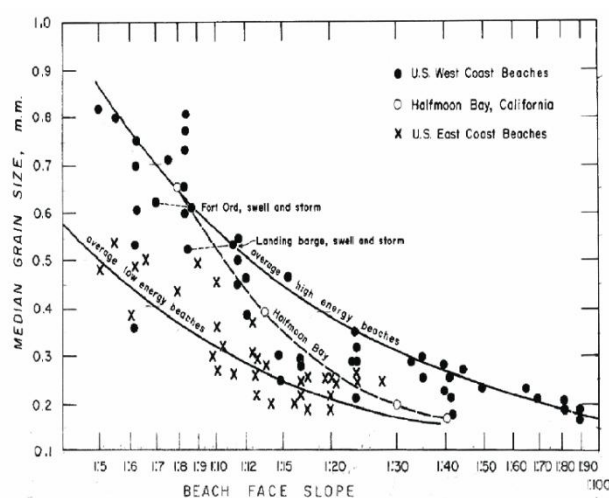


Figura 13 - Inclinação da face da praia em função do diâmetro dos sedimentos (in Komar), retirado de Pereira (2004).

Podem classificar-se as praias quanto ao grau de exposição como: praias expostas, praias abrigadas e praias semi-expostas. As praias expostas, podem ser definidas como sendo aquelas sobre as quais as ondas incidem directamente sobre a linha de costa com níveis energéticos relativamente altos. As praias abrigadas, apresentam níveis energéticos mais baixos e que de alguma forma estão protegidas da incidência directa das ondas sobre a linha de costa, por exemplo por baías, esporões ou quebramares (Faria, 2005).

O grau de exposição pode ser definido sem se conhecer o clima de ondas da praia, através da relação da inclinação da praia e do diâmetro médio das partículas, d_{50} , ou da velocidade de queda. Assim a classificação de praia exposta, semi-exposta e abrigada pode fornecer uma ideia do clima de agitação das ondas e do tipo de mobilização dos sedimentos da antepraia (Muehe, 2001).

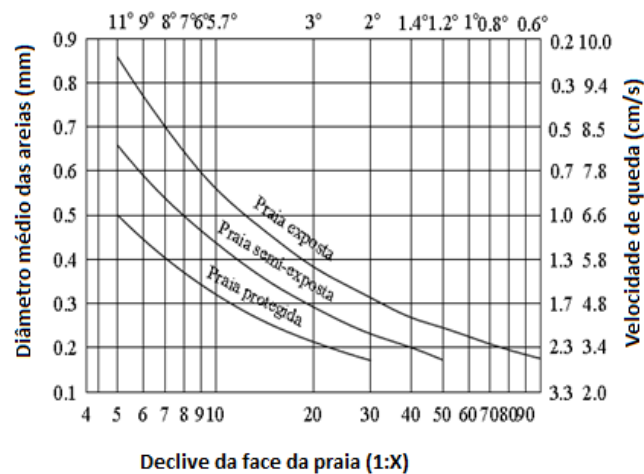
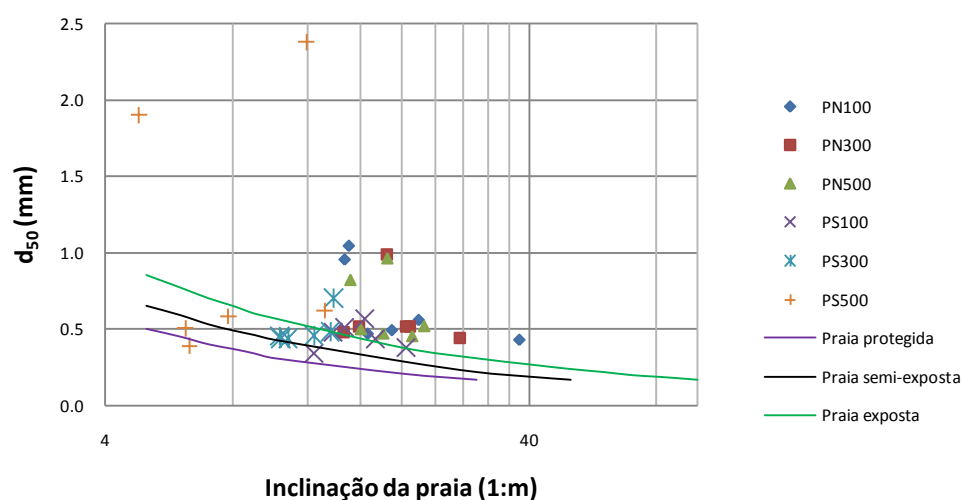


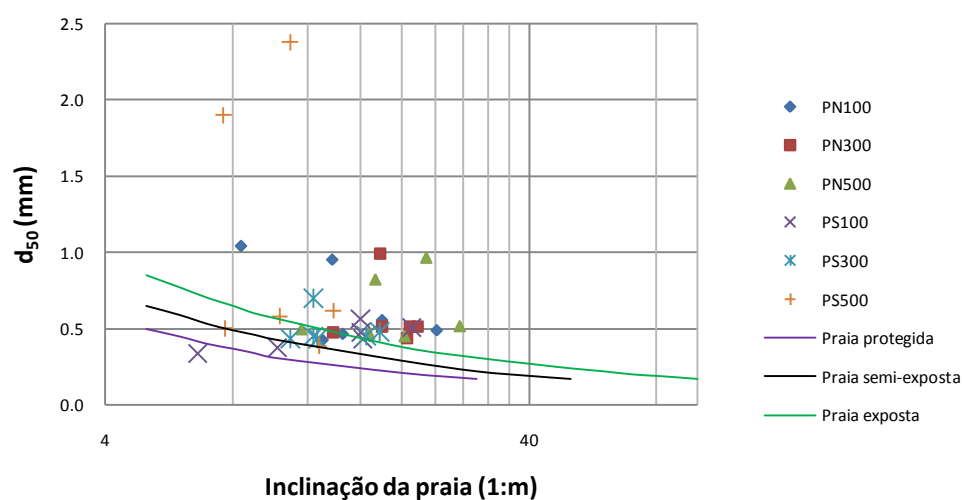
Figura 14 - Correlação entre a declividade da face da praia e a característica granulométrica dos sedimentos (adaptado de Wiegel, 1964, Muehe, 2001).

Para a praia do Areão, foi elaborada uma análise com os dados da granulometria (L1 e Perfil) e com a inclinação segundo as hipóteses b) e e). A análise neste trabalho, segue as curvas de referência da adaptação de Wiegel (figura 14). Os resultados são apresentados nas figuras 15 e 16.

O comportamento de cada um dos perfis, descrito pela relação entre a inclinação da praia e o diâmetro médio do alinhamento L1, reflecte o efeito da agitação incidente. Em geral, os perfis apresentam um comportamento aproximado à curva de referência de praia exposta evidenciando assim um clima de agitação energético. Cada um dos perfis apresenta um comportamento um pouco variável no diagrama, sendo os pontos figurativos do perfil PS500 os de maior variabilidade.



a) Dimensão dos sedimentos em função hipótese b) de inclinação.



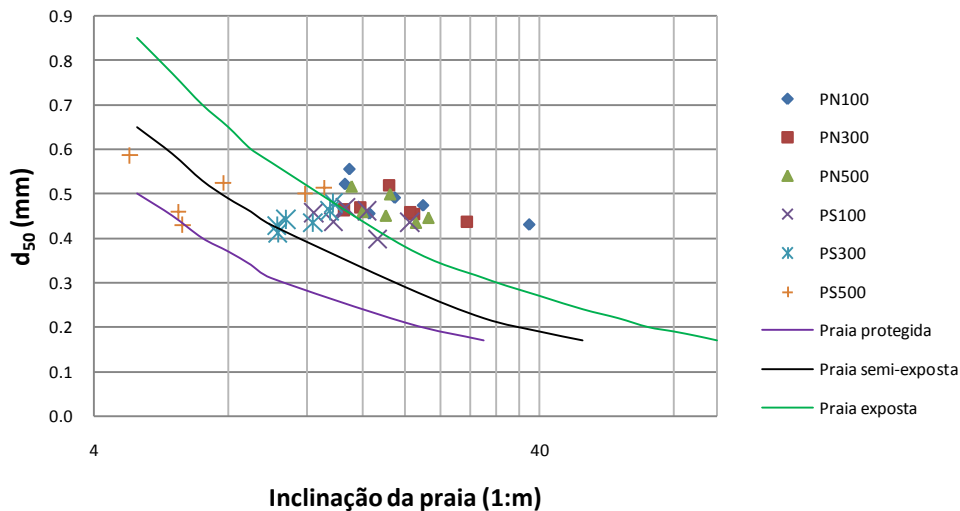
b) Dimensão dos sedimentos em função hipótese e) de inclinação.

Figura 15 - Relação da inclinação dos perfis com o diâmetro médio dos sedimentos do alinhamento L1.

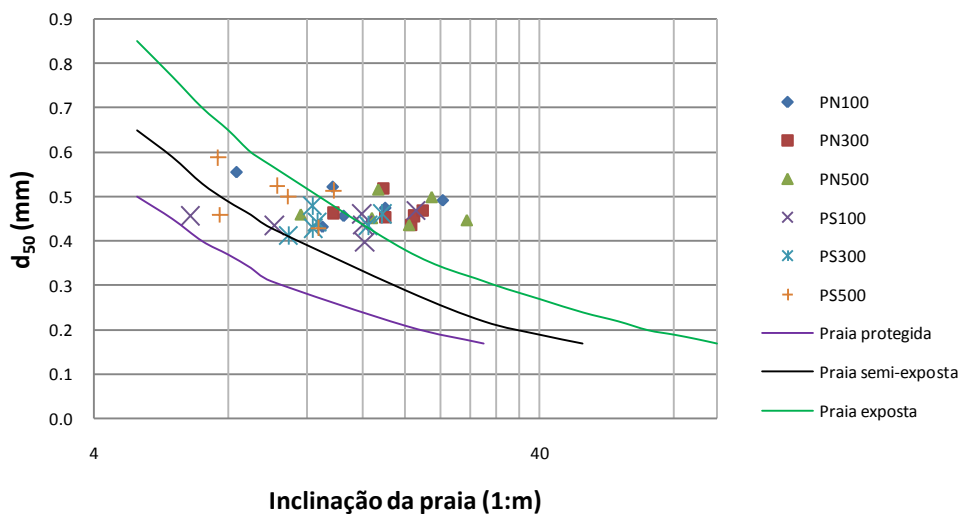
Para os perfis a Norte, em ambos os casos, figura 15 a) e b), que todos os pontos se apresentam próximos da curva de referência de praia exposta, verificando-se a partir da figura 15 a) que todos os pontos dos perfis a Norte se encontravam acima desta curva de referência. Para a figura 15 b) apenas 89% dos pontos a Norte correspondem a praias expostas e os restantes 11% a praias semi-expostas.

Relativamente aos perfis a Sul do esporão, de forma igual para a figura 15 a) e b), cada um dos perfis apresenta maior número de pontos para a curva de referência de praia exposta, registando-se 61% dos pontos acima da mesma. No entanto, observa-se que 33% dos pontos correspondem à curva de referência de praia semi-exposta e 6% (um ponto apenas), abaixo da curva de praia

abrigada. Esta diferença com os perfis a Norte poderá ter como causa, a presença do esporão que atenua o efeito da agitação incidente de Norte para Sul.



a) Dimensão dos sedimentos em função hipótese b) de inclinação.



b) Dimensão dos sedimentos em função hipótese e) de inclinação.

Figura 16 - Relação da inclinação dos perfis com o diâmetro médio dos sedimentos do Perfil.

Na figura 16, ao adoptar as dimensões de sedimentos do Perfil, atenuam-se situações de grandes valores de d_{50} . Fazendo uma análise a esta figura, para os perfis do lado Norte do esporão, observa-se que a gama de valores se aproxima da curva de referência da praia exposta, verificando-se baixa variabilidade morfológica, resultante da fraca variação dos diâmetros obtidos. Constatou-se novamente na figura 16 a), que todos os pontos se encontram acima da curva de referência da praia exposta. Para a figura 16 b), apenas 78% dos pontos correspondem a

praias expostas, sendo que os restantes 22% apresentam um comportamento de praia semi-exposta.

Relativamente aos perfis do lado Sul, a maior parte dos pontos obtidos aproximam-se da curva de referência da praia semi-exposta, observando-se alguns pontos acima da curva da praia exposta. Desta forma, na figura 16 a), verificou-se que apenas 28% dos pontos se apresentam acima da curva de referência de praia exposta, 67% dos pontos correspondiam a praias semi-expostas e os restantes 6% correspondem a praias abrigadas. Para a figura 16 b), 33% dos valores apresentam-se acima da curva de praias exposta e 67% dos pontos correspondem a praias semi-expostas.

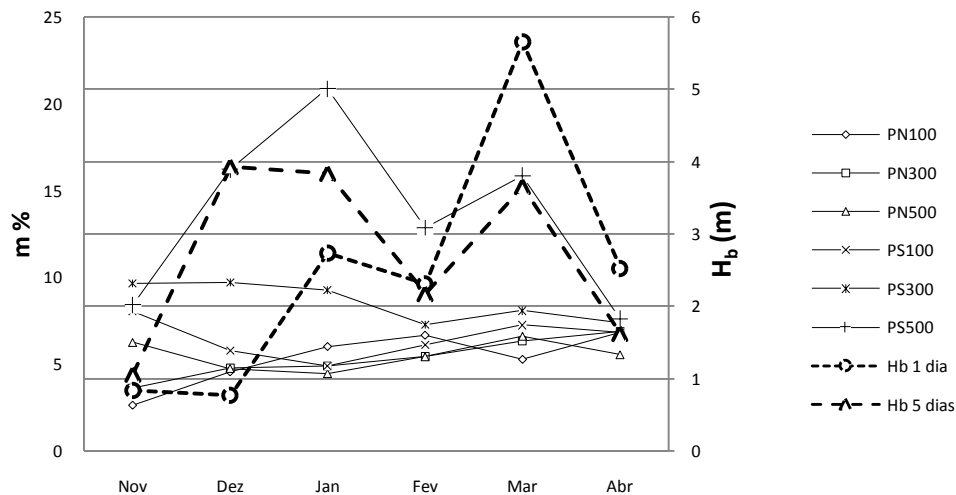
Em suma, verifica-se que os perfis monitorizados podem ser considerados no global como zonas expostas a um clima de agitação energético, com alturas de onda na rebentação elevadas, como verificado no capítulo 3. O facto da proveniência da onda ser em geral do quadrante NW pode reflectir o efeito do esporão numa redução da energia nos perfis a Sul.

4.3 Relação entre a inclinação e o clima de agitação

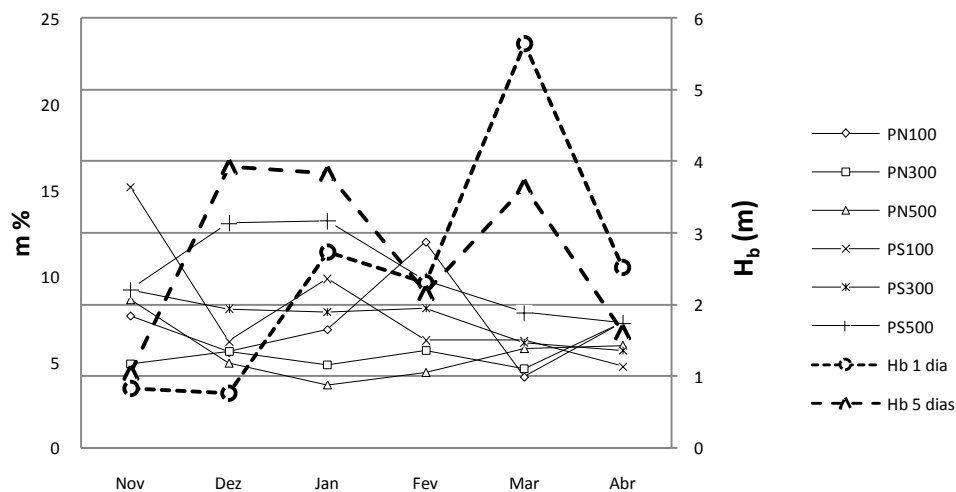
A partir de estudos em algumas praias tem sido demonstrado por alguns autores, (Bascom (1951) e Weigel (1964) em Pereira (2004)), que factores como a inclinação e o diâmetro médio das partículas apresentam proporcionalidade, e que esta relação depende do nível de agitação incidente. Dos mesmos autores, informação recolhida ao longo da baía de Halfmoon (Califórnia) que se caracteriza por estar parcialmente protegida por um cabo, da agitação incidente de Norte, à medida que a protecção diminui em direcção a Sul, há um aumento da exposição e da densidade de energia da agitação incidente no mesmo sentido. Em resposta, regista-se um aumento da inclinação da face da praia ao longo da referida baía.

Na possibilidade de relação da variabilidade do comportamento da altura de onda na rebentação com as inclinações segundo as hipóteses sugeridas neste estudo, hipótese b) e e), são apresentados gráficos no anexo 2. Dos resultados obtidos não se confirma que para clima de agitação energéticos exista uma tendência no comportamento da inclinação da praia.

A figura seguinte representa a comparação da distribuição da altura de onda na rebentação para períodos de tempos anteriores à campanha iguais a 1 e 5 dias com as hipóteses de inclinação propostas neste estudo ao longo do período em estudo para cada perfil.



a) Variação da H_b (m) para 1 e 5 dias e a inclinação da hipótese b)



b) Variação da H_b (m) para 1 e 5 dias e a inclinação da hipótese e).

Figura 17 - Relação da inclinação de cada perfil com a altura de onda na rebentação.

Foi elaborada a mesma análise para valores de altura de onda nos períodos mais longos antecedentes à campanha (15 e 30 dias), apresentados no anexo 3, não se verificando algum tipo de comportamento padrão entre as variáveis em causa.

No gráfico da figura 17 a), nota-se que na generalidade quando a altura da onda sobe a inclinação também sobe. Verifica-se na figura 17 a), que o perfil PS500 tende a apresentar variabilidade semelhante com a agitação do período de tempo antecedente a 5 dias para o período em análise.

5 Comparações com formulações numéricas

A inclinação da praia é ainda um tema discutido por vários autores, constando ainda como um valor indefinido na forma de determinação assim como, quais os factores que efectivamente determinam o comportamento desta grandeza. Como referido anteriormente, para este estudo foram sugeridas várias hipóteses, analisando-se em detalhe apenas duas, correspondentes à hipótese b), que determina a inclinação entre a linha de costa em baixa-mar e a base da duna, e à hipótese e), onde a inclinação é referida entre as cotas +2.0 e +4.0 m (ZH).

O que se pretende neste capítulo é analisar a comparação dos resultados obtidos para a inclinação segundo as hipóteses b) e e) e as formulações numéricas propostas por alguns autores, nomeadamente Kamphuis e Sunamura.

De acordo com Coelho (2005), Kamphuis em 1986, apresentou a inclinação da praia na zona de rebentação, como uma função da altura de onda na rebentação e da dimensão média dos sedimentos (expressão 5.1).

$$m = 1,8 \left(\frac{H_b}{d_{50}} \right)^{-1/2} \quad (5.1)$$

Segundo Short (1999), Sunamura em 1994, a partir da compilação de mais de 35 publicações apresentou um estudo empírico da inclinação da praia. Apresentam também equações várias situações, distinguindo o laboratório e dados de campo, equação 5.2.

$$m = \frac{0.12}{\left(\frac{H_b}{T_b \sqrt{g d_{50}}} \right)} \quad (\text{campo}) \quad (5.2)$$

Os resultados obtidos para a inclinação segundo as formulações numéricas tiveram em consideração os diâmetros médios (granulometria do alinhamento L1 e do Perfil) e a altura de onda na rebentação, para cada um dos períodos de tempo antecedente às campanhas. A análise foi feita para cada um dos perfis monitorizados, onde se pôde observar a distribuição dos resultados obtidos para a inclinação ao longo do tempo. Os resultados obtidos são apresentados no anexo 4, onde “S”, designa a inclinação segundo a formulação numérica de Sunamura e “K”, designa a inclinação segundo a formulação numérica de Kamphuis.

Em geral verifica-se que a distribuição da inclinação ao longo do tempo segundo as hipóteses b) e e) são superiores às formulações numéricas, verificando-se valores superiores para a equação referida por Sunamura independentemente do diâmetro médio usado. No entanto, o comportamento das duas formulações é semelhante ao longo do tempo. Os valores obtidos para as inclinações, em ambas as formulações, são em geral, superiores quando o valor do diâmetro médio utilizado no cálculo, é o do alinhamento L1, reflexo dos maiores valores desta granulometria. Genericamente, a inclinação resultante das formulações diminuem à medida que os períodos de tempo precedentes às campanhas vão crescendo, reflexo da diminuição do valor da altura de rebentação.

A partir de uma análise detalhada, observa-se para o perfil PN100 com o clima de agitação caracterizado por 1 dia antes da campanha, uma variabilidade de valores idêntica entre as equações e a hipótese e) de Janeiro a Abril. O mesmo acontece para o perfil PN300, entre a distribuição da formulação de Kamphuis e a hipótese e). Relativamente a 5 e 15 dias antecedentes à campanha, existe um padrão de variação idêntico para todos os meses entre a hipótese e) e as formulações para o perfil PN100. Para 30 dias precedentes à campanha, observa-se para o PN500 para o período de Novembro a Fevereiro, comportamento semelhante entre as formulações e a hipótese e).

Em suma, verifica-se para a formulação propostas, que as inclinações são naturalmente superiores com o aumento do diâmetro dos sedimentos (Sunamura) e com a redução da altura de onda (Kamphuis). As inclinações dos perfis a Norte, em geral, apresentam um comportamento comum com as formulações, ao contrário dos perfis a Sul que apresentam maior variação no tempo, como já verificado anteriormente.

6 Classificação do tipo de praia segundo critérios morfodinâmicos

Os critérios considerados para a caracterização da morfodinâmica dos perfis monitorizados da praia do Areão têm por base a morfologia da praia emersa, para períodos de marés vivas em baixa-mar. A variação morfológica dos perfis foi obtida pelos levantamentos topográficos realizados durante os seis meses de análise.

A classificação dos perfis baseia-se na classificação proposta por Short (1999), recorrendo a diferentes parâmetros morfodinâmicos: velocidade de queda adimensional (Ω), ângulo da face da praia e número de Iribarren. Estes parâmetros permitem a classificação de cada perfil e dessa forma, permitem realizar uma comparação entre a inclinação obtida neste trabalho e a que é sugerida por Short (1999).

6.1 Velocidade de queda adimensional

Short (1999) classifica as praias usando três parâmetros: altura de onda na rebentação, H_b , período de onda T e a velocidade de queda ω_s . A velocidade de queda ou de sedimentação é fundamental na determinação do transporte de carga sólida em suspensão, que depende das características da granulometria dos sedimentos e do meio fluido onde se encontram. A velocidade de queda pode ser calculada a partir dum diâmetro característico, d , recorrendo às equações que calculam a velocidade de queda, ω_s , que neste trabalho seguem a metodologia de Rijn (1984). Assim, a distinção do tipo de praias pode ser definida pelo parâmetro, Ω .

$$\Omega = \frac{H_b}{\omega_s T} \quad (6.1)$$

A partir de várias observações da costa Australiana, Short (1999) define que quando $\Omega < 1$ as praias tendem para reflectivas e quando $\Omega > 6$ as praias seriam dissipativas. Para valores de Ω entre 2 e 5, as praias seriam classificadas de intermédias. Neste trabalho o intervalo adoptado para praias intermédias é definido entre 1 e 6 com intervalos abertos à esquerda e à direita.

Em termos comparativos, as praias reflectivas encontram-se geralmente expostas a um ambiente de baixa energia, com alturas de onda baixas e granulometria grosseira. As praias dissipativas, apresentam em geral elevadas alturas de onda, granulometria baixa e são afectadas por períodos de onda baixos (Short, 1999).

As praias do tipo intermédio correspondem aos tipos mais dinâmicos, quer longitudinalmente, quer no tempo. A linha de costa é potencialmente rítmica, o que faz com que

a mobilidade da praia atinja o seu máximo neste tipo morfológico. A principal característica que lhes está associada é a presença de uma zona de rebentação horizontal com barras submarinas e correntes de retorno (Short, 1999).

Tabela 11 - Percentagem de resultados mensais obtida para cada tipo de praia.

		Diâmetro médio - L1			Diâmetro médio - Perfil		
		Reflectiva	Intermédia	Dissipativa	Reflectiva	Intermédia	Dissipativa
PN500	Hb 1 dia	0%	100%	0%	0%	83%	17%
	Hb 5 dias	0%	83%	17%	0%	67%	33%
	Hb 15 dias	0%	83%	17%	0%	67%	33%
	Hb 30 dias	0%	100%	0%	0%	100%	0%
PN300	Hb 1 dia	0%	83%	17%	0%	83%	17%
	Hb 5 dias	0%	100%	0%	0%	50%	50%
	Hb 15 dias	0%	100%	0%	0%	67%	33%
	Hb 30 dias	0%	100%	0%	0%	100%	0%
PN100	Hb 1 dia	0%	83%	17%	0%	83%	17%
	Hb 5 dias	0%	67%	33%	0%	67%	33%
	Hb 15 dias	0%	100%	0%	0%	83%	17%
	Hb 30 dias	0%	100%	0%	0%	100%	0%
PS100	Hb 1 dia	0%	83%	17%	0%	83%	17%
	Hb 5 dias	0%	50%	50%	0%	50%	50%
	Hb 15 dias	0%	67%	33%	0%	67%	33%
	Hb 30 dias	0%	83%	17%	0%	100%	0%
PS300	Hb 1 dia	0%	83%	17%	0%	83%	17%
	Hb 5 dias	0%	50%	50%	0%	50%	50%
	Hb 15 dias	0%	67%	33%	0%	67%	33%
	Hb 30 dias	0%	100%	0%	0%	100%	0%
PS500	Hb 1 dia	17%	67%	17%	0%	83%	17%
	Hb 5 dias	17%	67%	17%	0%	67%	33%
	Hb 15 dias	17%	67%	17%	0%	100%	0%
	Hb 30 dias	17%	83%	0%	0%	100%	0%

A classificação obtida na praia do Areão é apresentada na tabela 11, verificando-se, genericamente, para os perfis monitorizados uma classificação da praia do tipo intermédia. Os perfis foram classificados considerando o clima de agitação segundo os períodos de tempo

anteriores às campanhas iguais a 1, 5, 15 e 30 dias, separadamente. Para a obtenção do comportamento da praia foi tido em conta a velocidade de queda resultante do diâmetro médio das areias do alinhamento L1 e do Perfil.

Considerando a de altura de onda na rebentação correspondente aos 30 dias anteriores à campanha, verificou-se em geral um comportamento de praias intermédias. Para o diâmetro médio do Perfil, verificou-se uma frequência de 100% para todos os perfis ao longo do tempo. No entanto, tomando em consideração a velocidade de queda resultante da dimensão dos sedimentos do alinhamento L1, observa-se para os perfis PS100 e PS500 um registo de 83% com comportamento intermédio, sendo os restantes 17%, classificados como praia dissipativa no mês de Janeiro, para o perfil PN100 e como praia reflectiva no mês de Novembro, para o perfil PS500. Verificou-se o mesmo comportamento neste perfil, independentemente dos períodos de tempo anteriores às campanhas do clima de agitação utilizado. Este facto deve-se à granulometria grosseira encontrada para este mês neste perfil.

Para alturas de onda referentes a 15 dias anteriores à campanha, a análise indica maior frequência para um comportamento intermédio. Considerando a granulometria do alinhamento L1, apenas os perfis PN300 e PN100 apresentam uma frequência de 100%, enquanto os perfis PS100 e PS300 apresentam um comportamento de 67% para praias intermédias e 33% correspondem a praias dissipativas, para os meses de Dezembro e Janeiro. O perfil PN500 apenas no mês de Dezembro se classificou como praia dissipativa, observando-se para os restantes meses um comportamento de praia intermédio. O perfil PS500 variou entre os três tipos de comportamento ao longo do tempo, registando 67% como praia intermédia, 17% como praia dissipativa para o mês de Março e como já referido, 17% como praia reflectiva. Verificou-se para o mesmo perfil (PS500), o mesmo resultado para períodos de tempo anteriores às campanhas iguais a 1 e 5 dias. Para diâmetros médios do Perfil, verifica-se 67% do tempo com comportamento de praia intermédia para os perfis PS100 e PS300, sendo os restantes 33% relativos a comportamento dissipativo, correspondentes aos para os meses de Dezembro e Janeiro. O perfil PS500 classifica-se como intermédio em todos os meses.

Das diversas análises, para um período de agitação relativos aos 5 dias anteriores à campanha, verifica-se maior variabilidade de comportamento dos perfis, apresentando no entanto, uma classificação maioritária de praia do tipo intermédio. Utilizando diâmetros médios do alinhamento L1, apenas o perfil PN300 regista 100% de frequência ao longo dos seis meses, como praia intermédia. Os perfis com menor frequência, PS100 e PS300, classificam-se apenas em 50% dos meses com comportamento intermédio, sendo os restantes 50% classificados como

praias dissipativas, nos meses de Dezembro, Janeiro e Março, dado se verificar um maior clima de agitação para estes meses. O mesmo se verificou quando se utilizaram os valores de diâmetro médio do Perfil, verificando o mesmo para o perfil PN300. Os restantes perfis apresentam em geral frequência de 67%, para ambas as granulometrias, verificando-se comportamentos de praia intermédia.

Relativamente à altura de onda na rebentação no dia anterior à campanha, verifica-se para ambas as granulometrias uma classificação do tipo intermédio. Para ambas as granulometrias, todos os perfis, como a excepção do PN100 e o PS500, apresentam uma frequência de 83% de classificações correspondentes a praias intermédias para o período em estudo, sendo que os restantes 17% classificam-se com dissipativas para o mês de Março. O PN100 apresentou para todo o período 100% dos registo como praia intermédia segundo a dimensão das areias do alinhamento L1.

Em suma, verifica-se para a zona em estudo maior inconstância de valores na passagem do clima de agitação de 1 dia para 5 dias, alterando respectivamente de praia intermédia para dissipativa. Os meses que maiores alterações de comportamento apresentam, são os meses de Dezembro, Janeiro e Março, reflexo do clima de agitação mais intenso.

Foi realizada uma análise considerando a média mensal velocidade de queda adimensional a partir dos valores obtidos cada perfil, para cada mês em cada período de tempo antecedente à campanha. No anexo 5, são apresentados os valores obtidos para a velocidade de queda adimensional, Ω , para cada mês e em cada perfil. A tabela seguinte resume esses valores apresentando apenas as médias obtidas para cada mês e para cada perfil.

Tabela 12 - Velocidade de queda dimensional (Ω), média.

	Mês	Hb 1 dia	Hb 5 dias	Hb 15 dias	Hb 30 dias	Perfil	Hb 1 dia	Hb 5 dias	Hb 15 dias	Hb 30 dias
d₅₀ - alinhamento L1	Nov	2.3	2.3	2.2	2.2	PN500	3.3	4.0	4.1	3.8
	Dez	1.3	5.9	5.8	4.7	PN300	3.7	4.2	4.3	4.0
	Jan	4.3	5.6	5.4	4.8	PN100	3.4	4.0	4.0	4.0
	Fev	2.2	2.2	3.0	3.4	PS100	4.3	4.9	5.1	4.7
	Mar	7.2	6.0	5.2	4.2	PS300	4.0	4.6	4.7	4.4
	Abr	4.6	3.3	4.2	4.9	PS500	3.3	3.6	3.7	3.4
d₅₀ - Perfil	Nov	2.5	2.5	2.4	2.4	PN500	4.0	4.7	4.8	2.3
	Dez	1.4	6.4	6.2	2.4	PN300	4.1	4.7	4.8	2.3
	Jan	4.8	6.2	6.0	2.3	PN100	3.9	4.5	4.6	2.3
	Fev	3.0	3.0	4.2	2.2	PS100	4.3	4.9	5.1	2.4
	Mar	7.7	6.4	5.5	2.3	PS300	4.3	4.9	5.0	2.4
	Abr	5.2	3.6	4.7	2.3	PS500	3.9	4.4	4.6	2.2

Verificou-se para alturas de onda na rebentação, no dia anterior à campanha e para ambas as granulometrias o mesmo tipo de comportamento. A partir da média dos perfis e da média mensal obteve-se um comportamento do tipo intermédio, com excepção do mês de Março, reflexo de um clima de agitação elevado obtendo-se assim um comportamento dissipativo.

Relativamente a 5 dias anteriores à campanha, para ambas as granulometrias, a média por perfil apresenta um comportamento intermédio. Para a média mensal, segundo diâmetros médios do alinhamento L1, também se verificou para todos os meses um comportamento intermédio, apesar de no mês de Março, o valor obtido se aproximar bastante de um comportamento dissipativo. Considerando a granulometria do Perfil, 50% dos meses, Novembro, Fevereiro e Abril classificaram-se com intermédios e os restantes como dissipativos.

Para altura de onda na rebentação, referentes a 15 e 30 dias, para a média mensal e do perfil e para ambas as granulometrias, o comportamento resultante foi do tipo intermédio, com a excepção do valor obtido para o mês de Dezembro, para a granulometria do Perfil, 15 dias anteriores à campanha, onde se registou um comportamento de praia dissipativo. Note-se que apesar da média do mês de Janeiro se aproximar de um comportamento de praia dissipativo, foi ainda considerado um comportamento de praia do tipo intermédio.

Assim, da análise efectuada pode-se indicar que em termos médios por perfil, para ambas as granulometrias e para todos os climas de agitação caracterizados pelos diferentes períodos de tempo antecedentes às campanhas, os perfis monitorizados apresentam um comportamento intermédio. No que respeita à média mensal os meses de Dezembro, Janeiro e Março são aqueles que maiores alterações de comportamento sofrem, em especial entre o clima de agitação de 1 e 5 dias.

6.2 Tipo de rebentação da onda

Após o estudo do comportamento da praia segundo o parâmetro Ω , realizou-se a partir do número de Iribarren uma nova análise. Esta análise é realizada com base em Short (1999), onde são apresentados os intervalos que permitem a classificação da praia de acordo com cada para cada parâmetro acima referido.

De acordo com Coelho (2005), Castanho, em 1996, indica que tipo de rebentação dependente da inclinação da praia (β) e da declividade da onda. Praias de pequena inclinação são propícias à rebentação progressiva, enquanto que praias de maior inclinação favorecem a rebentação mergulhante. A declividade da onda intervém no sentido de que fortes declividades favorecem a rebentação progressiva, enquanto que ondas de fraca declividade propiciam a rebentação em mergulho. O parâmetro de Battjes (ξ_o), também utilizado por Iribarren, permite

estabelecer as gamas de ocorrência dos diversos tipos de rebentação, relacionados com o tipo de comportamento da praia. A definição deste parâmetro segue a expressão 6.2 e as gamas de ocorrência estão de acordo com a tabela seguinte, admitindo inclinações uniformes dos fundos e as características de onda na rebentação (altura de onda e comprimento de onda).

$$\xi_0 = \tan \beta \left(\frac{H_b}{L_0} \right)^{-1/2} \quad (6.2)$$

Tabela 13 - Critério de classificação do tipo de rebentação das ondas, Short (1999).

Classificação	Tipo de rebentação da onda	Gama de ocorrências
Dissipativa	Progressiva - “ <i>spilling</i> ”	$\xi_0 \leq 0.63$
Intermédia	Mergulhante - “ <i>spilling-plunging</i> ”	$0.63 < \xi_0 < 5$
Reflectiva	Oscilatória – “ <i>surging</i> ”	$\xi_0 \geq 5$

No tipo de rebentação progressiva (*spilling breaker*), a onda empola, mantendo praticamente a sua forma simétrica até que uma pequena emulsão de ar-água aparece na crista. Este início de rebentação progride até cobrir em geral toda a frente da onda, mantendo a zona turbulenta mais ao menos junto à superfície. Enquanto se processa o fenómeno da rebentação, a onda continua a propagar-se, mantendo em grande parte o seu perfil simétrico (Coelho, 2005).

A rebentação mergulhante (*plunging breaker*) é um processo muito mais rápido e violento de dissipação de energia. Com a diminuição de profundidade, a frente da onda encurta e torna-se cada vez mais inclinada, enquanto que o tardoz se alonga, tornando-se cada vez mais suave. Em dado momento, a frente torna-se vertical e a parte superior da crista galga o corpo inferior da onda, caindo em voluta, ou mergulho (Coelho, 2005).

Nos taludes muito íngremes pode ocorrer o tipo de rebentação oscilatória (*surging breaker*). A fase inicial da rebentação é semelhante à rebentação mergulhante, mas há então um adiantamento da zona inferior da onda que leva ao colapso da crista. Os fenómenos de reflexão têm bastante importância neste tipo de rebentação. Por vezes, o colapso da crista não é notório, havendo apenas um movimento de vai e vem. Existem muitas situações intermédias de rebentação que tornam difícil o seu enquadramento numa das classes referidas.

Os resultados obtidos consideraram o clima de agitação para todos os períodos de tempo antecedentes às campanhas. A análise foi elaborada para as inclinações obtidas segundo as hipóteses admitidas e já referidas neste estudo, registando-se para ambas, em geral, a ocorrência

de rebentação do tipo progressiva - “*spilling*” - correspondente a um comportamento de praia do tipo dissipativo. Observou-se a Norte do esporão a predominância de rebentação de ondas do tipo progressiva, remetendo assim para um comportamento de praia dissipativo. A Sul do esporão a maior ocorrência corresponde a ondas do tipo progressiva, apesar do perfil PS500 apresentar para quase todos os meses rebentação do tipo mergulhante - “*spilling- plunging*”. Assim, os resultados desta análise não vão completamente ao encontro da classificação obtida por análise da velocidade de queda adimensional.

6.3 Inclinação da praia

A análise aqui apresentada tem interesse especial, uma vez que considera a inclinação obtida neste estudo (resultados apresentados no anexo 6), comparando-as com os valores referidos por Short (1999), reflectindo assim o comportamento da praia. Segundo este autor, praias do tipo dissipativo apresentam declive inferior a 2 graus, praias com comportamento reflectivo o ângulo apresenta um ângulo superior a 4 graus e praias intermédias, apresentam um declive compreendido entre 2 e 6 graus. Uma vez que segundo estas considerações surge uma sobreposição entre praias com declive entre 4 e 6 graus, foi adoptado para este estudo o intervalo entre 2 a 5 graus para praias intermédias, com intervalos abertos à esquerda e à direita e para praias reflectivas ângulos superiores a 5 graus.

Seguindo esta analogia, verifica-se no global um comportamento intermédio. Os perfis a Norte do esporão têm um comportamento intermédio para as duas hipóteses consideradas neste estudo. No entanto para o perfil PN100, segundo as duas hipóteses de inclinação, o mês de Novembro apresenta um tipo de comportamento reflectivo e o mês de Fevereiro classifica-se como reflectivo, ou seja, verifica-se que o mesmo perfil tem comportamentos diferentes ao longo do tempo.

Relativamente ao lado Sul do esporão a variação entre reflectiva e intermédia é considerável, apesar da maior tendência incidir sobre um comportamento intermédio. O perfil PS500 é aquele que apresenta maior variabilidade de comportamento. Os resultados obtidos, registaram inclinações superiores às que são referidas segundo a analogia de Short (1999).

6.4 Discussão de resultados

A classificação de cada perfil teve em conta os parâmetros anteriormente analisados, recorrendo à classificação proposta por Short (1999). A tabela 14, apresenta os intervalos de cada parâmetro, segundo qual foram classificados cada um dos perfis monitorizados.

Tabela 14 - Critério de classificação de cada parâmetro, segundo Short (1999).

	Reflectiva	Intermédia	Dissipativa
Ω	≤ 1	$]1;6[$	≥ 6
ξ_0	≥ 5	$]5;0.64[$	≤ 0.64
m (graus)	≥ 5	$]5;2 [$	≤ 2

Recorrendo à velocidade de queda adimensional, em geral, a praia classificou-se como praia do tipo intermédio. Verificou-se maior variabilidade de comportamento na passagem do clima de agitação de 1 para 5 dias, alternando respectivamente, entre intermédia e dissipativa. Os meses de Dezembro, Janeiro, e Março, reflexo do clima de agitação mais intenso, apresentaram maior variação de comportamento.

Da comparação das inclinações obtidas para o estudo, com os indicados na tabela 14, registou-se no global um comportamento do tipo intermédio, para as duas inclinações em estudo. A Sul do esporão registou-se maior variação de comportamento, ou seja, os perfis apresentaram inclinações superiores às propostas por Short, reflectindo assim um comportamento do tipo reflectivo.

A partir do tipo de rebentação da onda, os resultados não foram completamente ao encontro da classificação obtida por análise da velocidade de queda adimensional e da inclinação, apresentado em geral um comportamento da praia do tipo dissipativo.

7 Considerações finais

A caracterização do sistema litoral correspondente à praia do Areão para o período temporal compreendido entre Novembro de 2007 e Abril de 2008, teve por base a caracterização dos sedimentos da praia emersa, do clima de agitação junto à linha de costa e a caracterização topográfica da praia através de levantamentos de perfis transversais mensais. A partir desta informação, foram relacionadas cada uma das variáveis de modo a tentar estabelecer padrões de comportamento que permitam definir o comportamento da praia.

7.1 Conclusões

Em termos gerais, pode dizer-se que foi difícil estabelecer qualquer tipo de comportamento padrão entre as relações dos vários parâmetros analisados.

Dos sedimentos recolhidos nos diversos locais, verificou-se uma maior variabilidade do diâmetro médio das areias na linha de água (alinhamento L1) onde o mês de Fevereiro registou os maiores diâmetros. Para o diâmetro médio das areias junto à base da duna, (alinhamento L3), observou-se maior uniformidade temporal e espacial. Da amostra composta, (diâmetro médio do Perfil), verificou-se proximidade de valores com os resultados obtidos para a média, apresentando pouca variação temporal e espacial. Os valores obtidos para a média do diâmetro médio das três amostras de cada perfil, resultam em geral, superiores e com maior variabilidade espacial e temporal. Os diâmetros médios obtidos para a praia a Norte e a Sul do esporão e em toda a praia apresentam baixa variabilidade temporal.

O clima de agitação ao largo foi obtido através da bóia ondógrafo de Leixões. Foram definidos quatro períodos de tempo diferentes para caracterizar o clima de agitação que antecedeu cada campanha. Dos quatro períodos que antecederam cada campanha (1, 5, 15 e 30 dias), verificou-se que a média da altura de onda convergia à medida que o período antecedente à campanha crescia, apresentando maior variabilidade de valores para os períodos de 1 e 5 dias anterior à campanha. Com base em formulações simples, que consideram o efeito do empolamento e da refração, foi determinada a altura de ondas na rebentação, não se registando variação significativa da comparação com os valores da altura de onda obtidos ao largo.

Comparando os dados recolhidos do período em estudo, com a análise elaborada por Coelho (2005), o clima de agitação apresentou alturas de onda significativas, elevadas. O mês de Março apresentou um clima de agitação energético. A predominância da direcção de proveniência das ondas foi segundo o quadrante de NW.

A caracterização do perfil transversal teve por base os pontos topografados com o objectivo de determinar a inclinação da praia. Foram definidas cinco hipóteses distintas de definição da inclinação. A hipótese b), revelou maior uniformidade de valores para cada perfil ao longo do período em estudo. Pelo contrário, a hipótese e), demonstrou maior variabilidade de resultados. Em ambas as hipóteses, o perfil PS500 foi aquele onde se verificaram as maiores inclinações.

A partir da informação recolhida, verificaram-se relações entre os valores da altura de onda, do diâmetro médio dos sedimentos e das inclinações dos perfis da praia. No entanto, através desta análise comparativa, não ficou demonstrado um modo que permitisse definir o comportamento da praia.

A partir da relação entre a inclinação e a dimensão dos sedimentos, classificou-se a praia quanto ao grau de exposição, mostrando-se em geral do tipo exposta, apesar dos perfis a Sul apresentarem uma tendência para praia semi-exposta. Assim, os perfis monitorizados, podem ser considerados no global como zonas expostas a um clima de agitação energético devido a alturas de onda na rebentação elevadas. O facto da direcção da onda prevalecer segundo a direcção NW, pode reflectir o efeito do esporão numa redução da energia nos perfis a Sul.

Os resultados obtidos para as inclinações da zona em estudo foram comparados com as formulações de Kamphuis e Sunamura. Verificou-se adequabilidade das formulações numéricas com as inclinações propostas para alguns dos perfis analisados, apesar de no geral não se ter demonstrado um comportamento comum entre as formulações e as inclinações da zona em estudo.

Foram ainda usados diferentes critérios para a caracterização da morfodinâmica dos perfis, recorrendo à classificação proposta por Short (1999). A partir da velocidade de queda adimensional, em geral, a praia classificou-se como praia do tipo intermédio. Verificou-se maior variabilidade de comportamento na passagem do clima de agitação de 1 para 5 dias, alternando respectivamente, entre intermédia e dissipativa. Os meses que maiores alterações de comportamento apresentaram foram os meses de Dezembro, Janeiro, e Março, reflexo do clima de agitação mais intenso.

O tipo de rebentação da onda, permitiu classificar o comportamento da praia, que resultou em geral num comportamento de praia dissipativo.

Da comparação das inclinações obtidas no Areão, com os valores referidos por Short (1999), verificou-se no global um comportamento do tipo intermédio, apesar do lado Sul do esporão, os perfis terem apresentado inclinações superiores às propostas por Short, reflectindo assim um comportamento do tipo reflectivo.

7.2 Desenvolvimentos futuros

Das análises efectuadas, alguns temas não foram abordados com toda a profundidade, pelo que, ficam em aberto diversos aspectos que interessará desenvolver no futuro.

A caracterização granulométrica das areias é um factor fundamental, uma vez que se relaciona com diversos conceitos. Como se verificou, a variação dos grãos ao longo do perfil transversal e durante o período de tempo estudado, dificultaram a decisão dos valores a considerar, assim como a definição de qual o diâmetro dos sedimentos que representa a praia. É importante concluir quais os valores representativos dos sedimentos e quais os locais que melhor caracterizam o comportamento das praias. Assim, o prosseguimento das campanhas possibilita uma base de análise mais significativa.

A monitorização dos perfis transversais, permite caracterizar o comportamento da praia avaliando as alterações geomofologicas e o transporte de sedimentos. A continuação dos levantamentos topográficos da praia, permite a comparação de comportamentos no tempo, que contribui para a compreensão das alterações da praia, assim como para a definição de quais os factores que influenciam no comportamento do perfil transversal.

Relativamente aos dados recolhidos, referentes ao clima de agitação, apenas foi possível a obtenção de registos para o período em estudo. A disponibilização de dados por parte das entidades relacionadas com os estudos dos problemas costeiros permite a obtenção de resultados mais precisos, com base em análise de séries de registos mais longos.

A análise de outros parâmetros ou correlações que caracterizam a praia, como o período da onda e direcção da onda, são importantes na medida em que podem contribuir para definir o comportamento da praia. Este tipo de análise terá interesse em desenvolver no futuro.

A caracterização da inclinação da praia é um factor fundamental para algumas formulações numéricas, como a que corresponde à estimativa do transporte sólido. As diferentes formas como a inclinação é determinada, representa uma significativa variação de resultados. Desta forma, a caracterização da granulometria da praia, do clima de agitação da zona em estudo e dos perfis transversais, parâmetros que determinam o comportamento da praia, são uma base de análise que permitem a possível definição de comportamentos padrão, que podem reproduzir um modo de definição e normalização da inclinação da praia no tempo e no espaço.

Referências bibliográficas

Coelho (2005); Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira; Tese de Doutorado; Universidade de Aveiro, 404 p.

Faria, Antonio Paulo (2005); Eustasia Global e a Realidade do Litoral Brasileiro; Revista Brasileira de Geomorfologia.

Komar, Paul D, (1976); Beach processes and sedimentation; Englewood Cliffs: Prentice Hall. 429 p.

Medina Villaverde, José M. (1999); Hidrodinámica del Perfil de Playa; Colegio de Ingenieros de Caminhos, Canales y Portues; Colección Señor nº 21, 191 p.

Muehe, Dieter (2001); Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento; Laboratório de Geografia Marinha Departamento de Geografia – UFRJ; Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1 (2001) pag. 35 a 44.

Pasolini, Alexandre (2005); Análise Morfodinâmica da Praia de Marataízes Frente a um Possível Processo de Engordamento Artificial; Obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia; Universidade Federal do Espírito Santo, 60 p.

Pereira, Cristina M. P. G. Castro (2004); Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a Sul do Cabo Espichel; Tese de Doutorado; Universidade de Évora; 360 p.

Rijn, L. C. J. v., A. G. Davies, J. v. d. Graaff and J. S. Ribberink (2001); SEDMOC, Sediment transport modelling in marine coastal environments; Acqua publications. 450 p.

Short, A. D. (1999); Handbook of beach and shoreface morphodynamics; John Wiley.XII, 379 p.

Anexos

Anexo 1

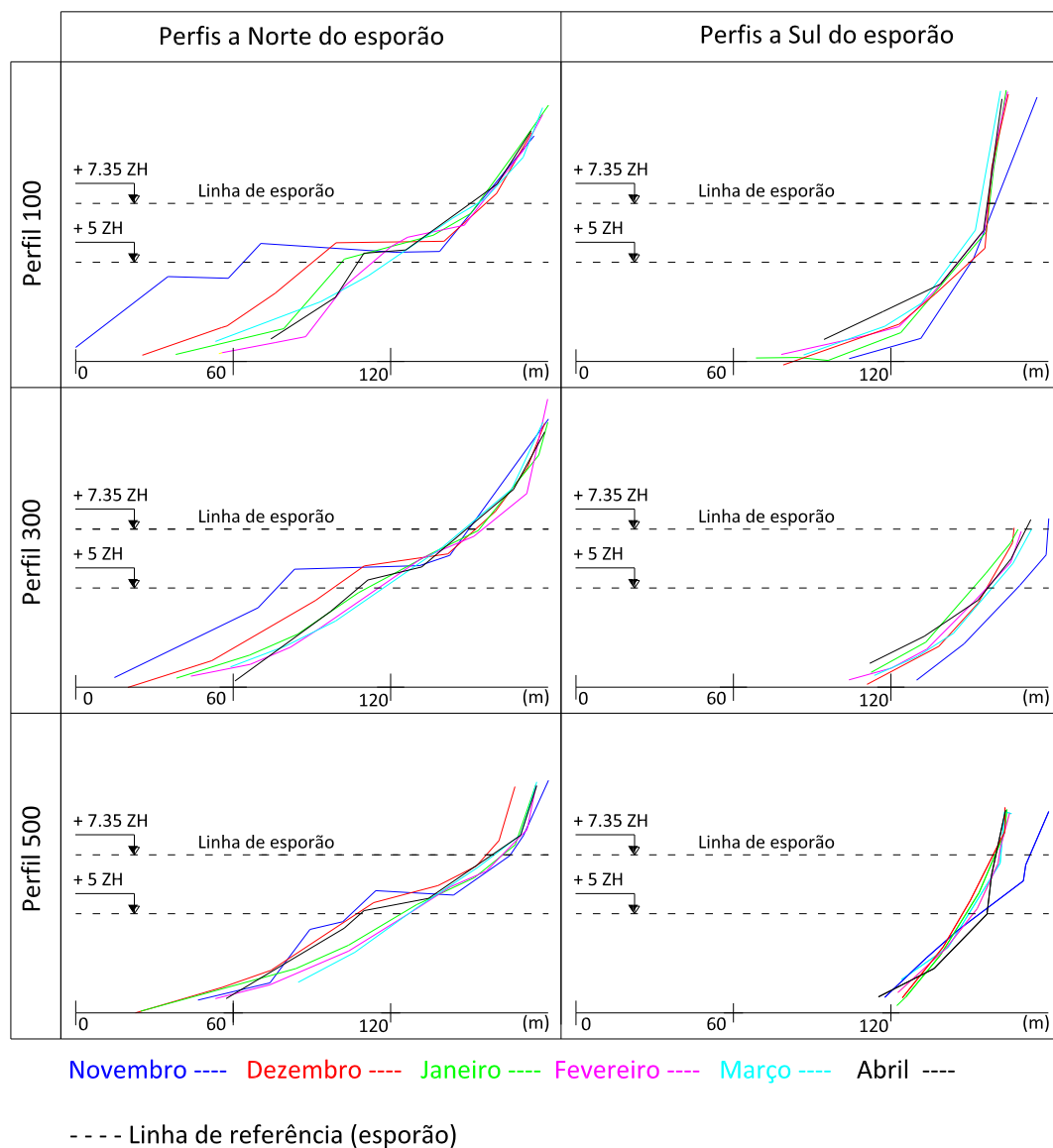


Figura 1 – Perfis transversais monitorizados a Norte e a Sul do esporão da praia do Areão, de Novembro de 2007 a Abril de 2008.

Anexo 2

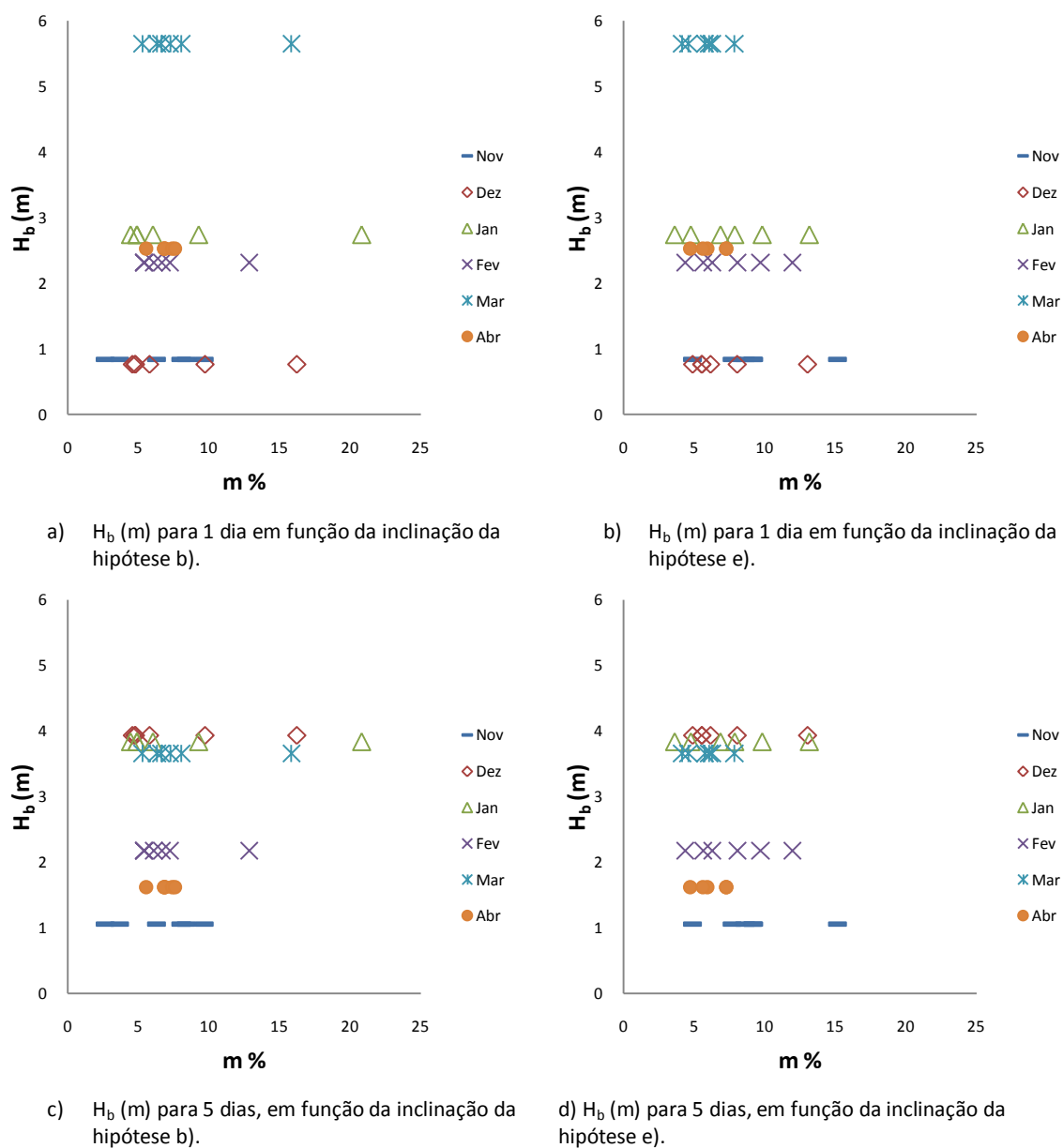
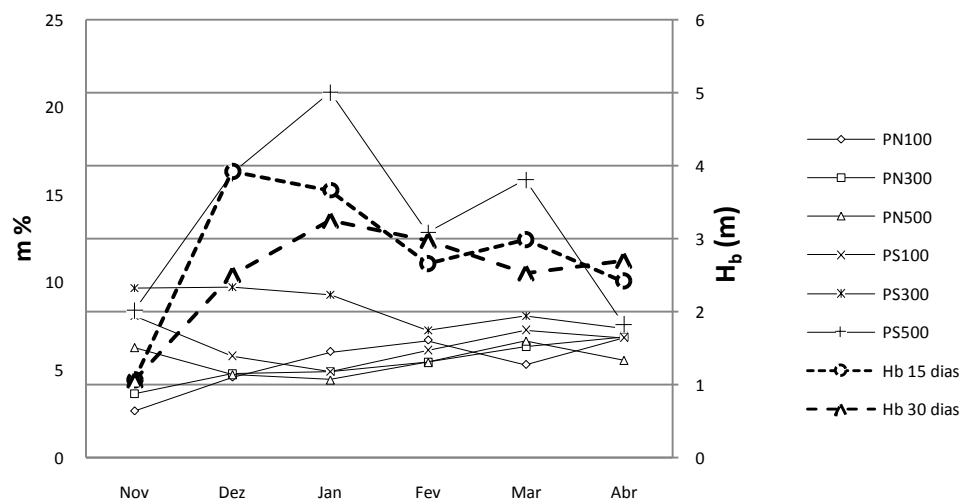
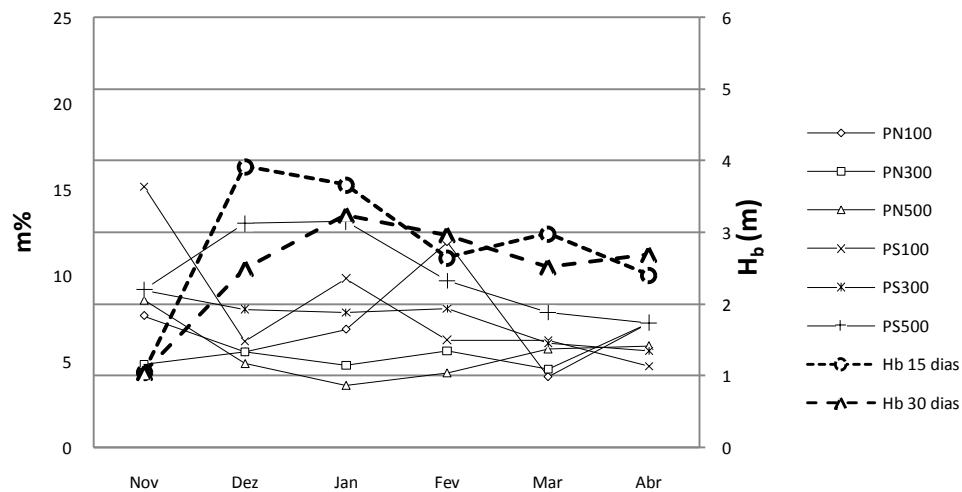


Figura 2 - Altura de onda na rebentação, em função das inclinações estudadas.

Anexo 3



a) Relação da H_b (m) para 15 e 30 dias e a inclinação da hipótese b).



b) Relação da H_b (m) para 15 e 30 dias e a inclinação da hipótese e).

Figura 3 - Relação da inclinação de cada perfil com a altura de onda na rebentação.

Anexo 4

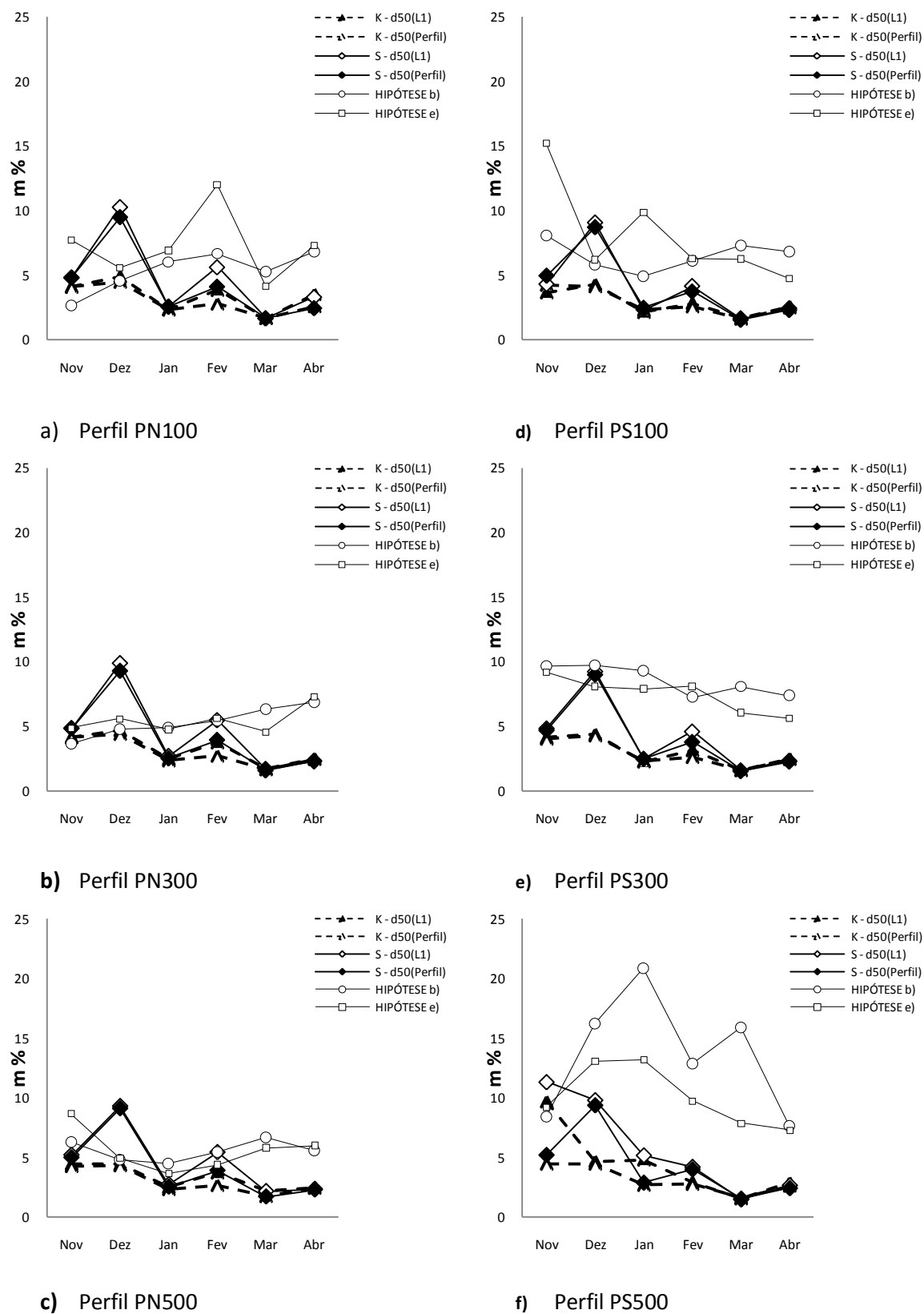
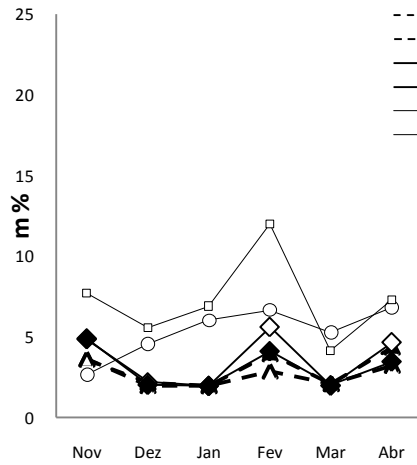
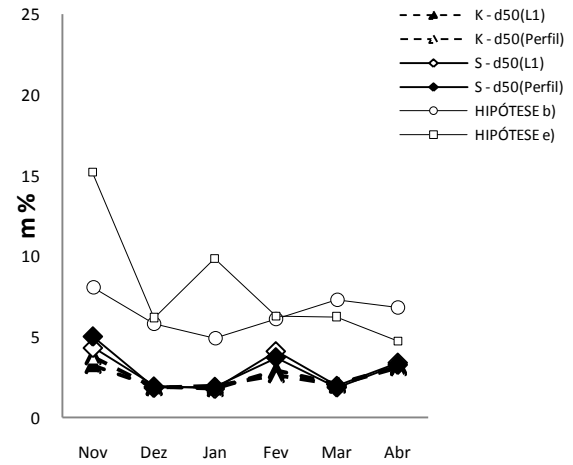


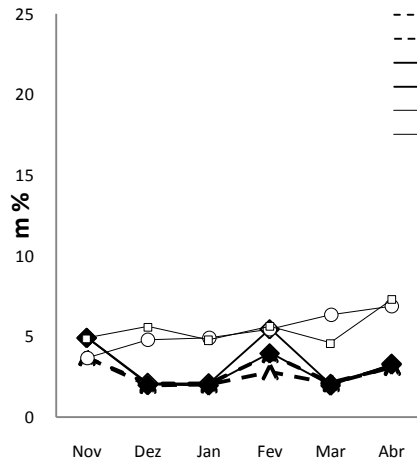
Figura 4 - Relação das inclinações obtidas para as formulações, considerando H_b 1 dia, com as inclinações proposta neste estudo.



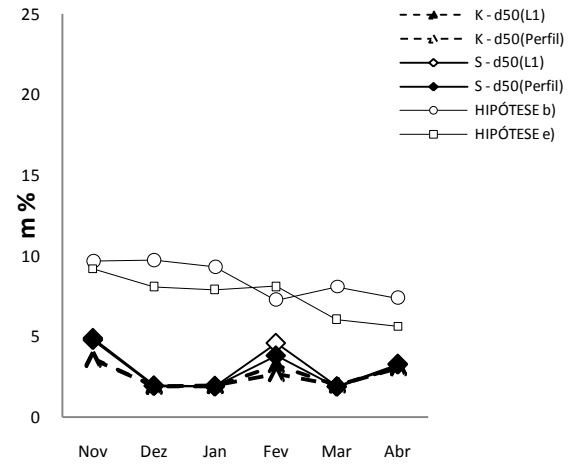
a) Perfil PN100



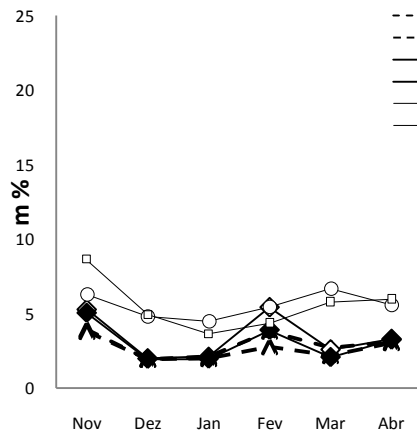
d) Perfil PS100



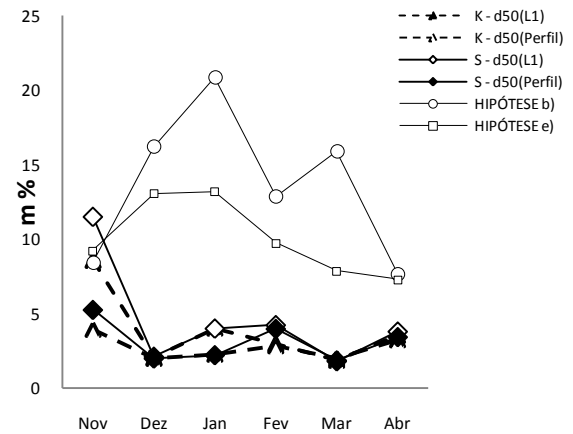
b) Perfil PN300



e) Perfil PS300



c) Perfil PN500



f) Perfil PS500

Figura 5 – Relação das inclinações obtidas para as formulações, considerando H_b 5 dias, com as inclinações proposta neste estudo.

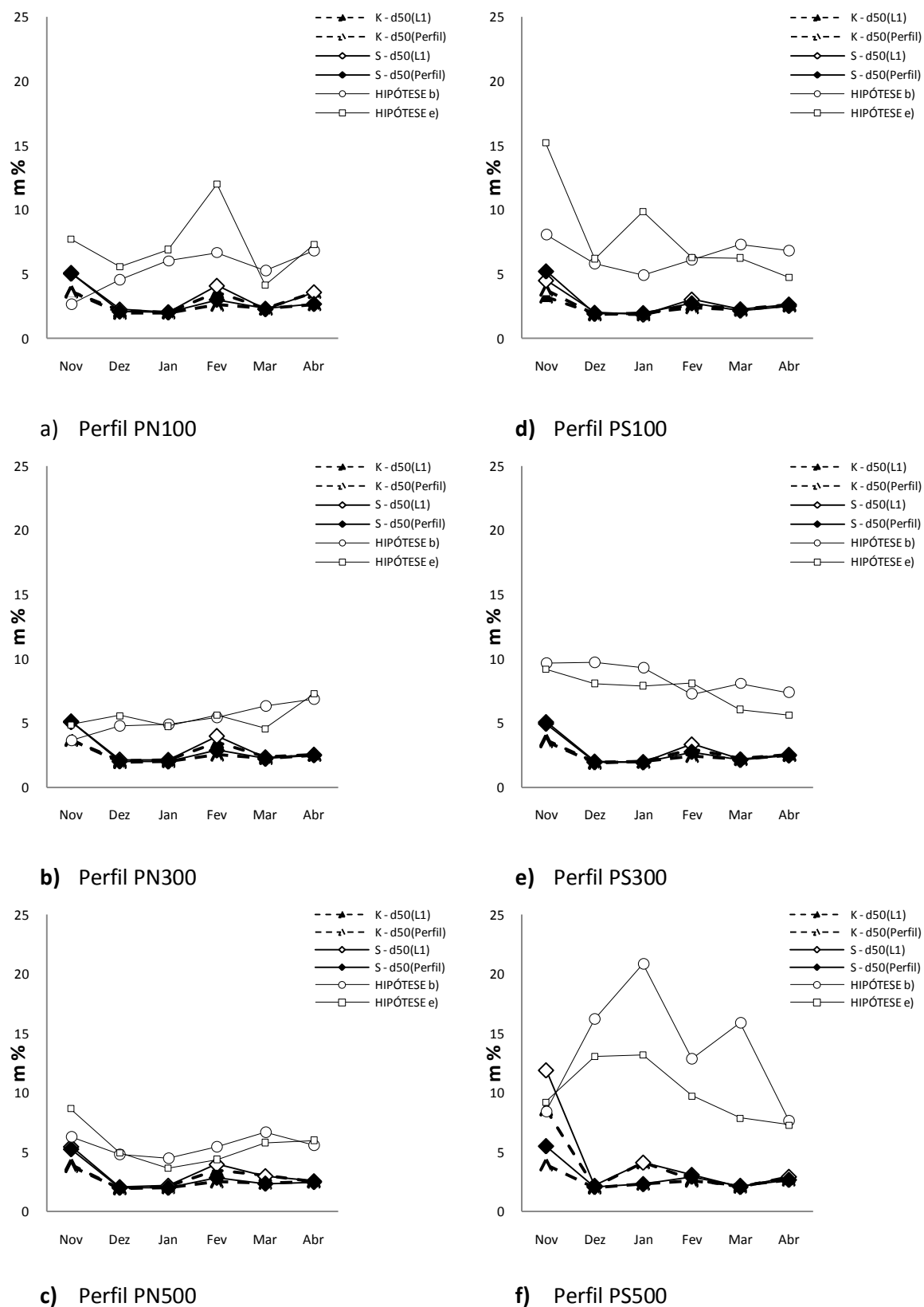
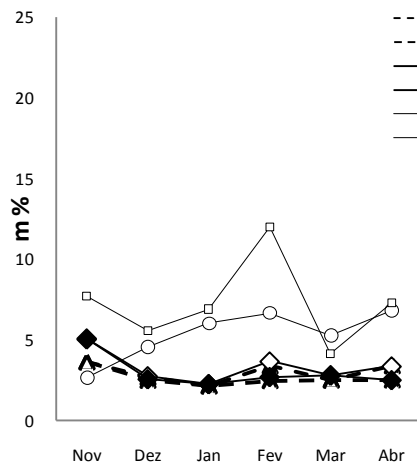
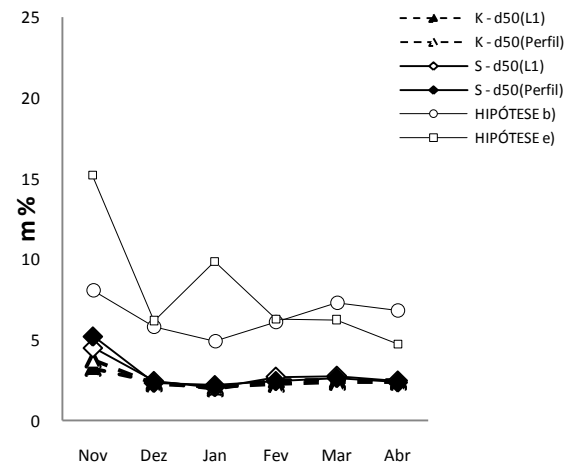


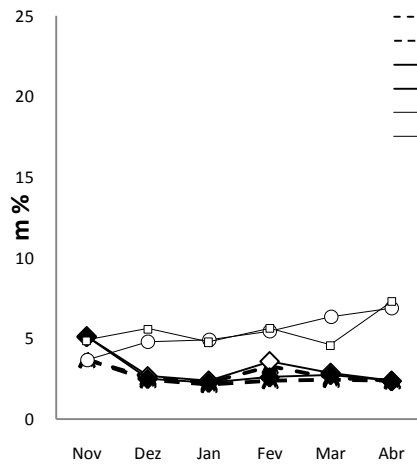
Figura 6 - Relação das inclinações obtidas para as formulações, considerando H_b 15 dias, com as inclinações proposta neste estudo.



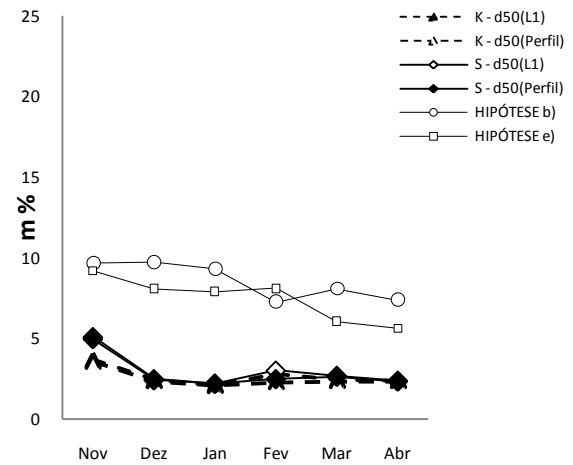
a) Perfil PN100



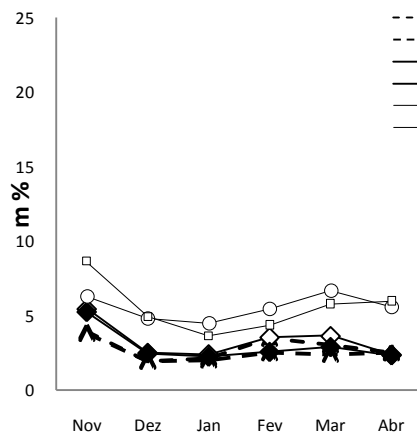
d) Perfil PS100



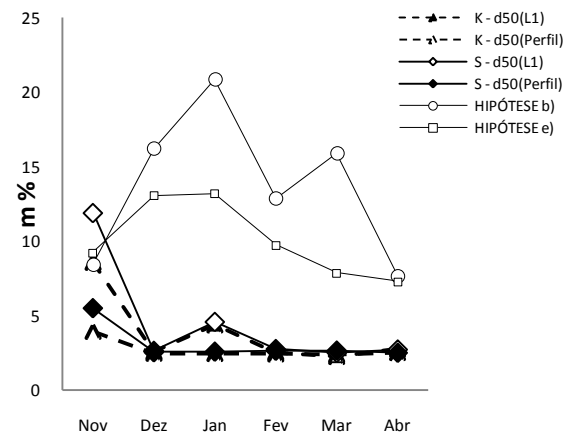
b) Perfil PN300



e) Perfil PS300



c) Perfil PN500



f) Perfil PS500

Figura 7 - Relação das inclinações obtidas para as formulações, considerando H_b 30 dias, com as inclinações proposta neste estudo.

Anexo 5

Velocidade de queda adimensional para o diâmetro médio do alinhamento L1

Velocidade de queda adimensional - Hb 1 dia								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	Classificação
PN500	2.3	1.3	4.3	1.9	5.0	5.2	3.3	INTERMÉDIA
PN300	2.6	1.2	4.4	1.9	7.0	5.2	3.7	INTERMÉDIA
PN100	2.6	1.1	4.7	1.5	7.3	3.1	3.4	INTERMÉDIA
PS100	3.3	1.4	5.8	2.8	7.5	4.9	4.3	INTERMÉDIA
PS300	2.6	1.3	5.0	2.4	7.8	5.1	4.0	INTERMÉDIA
PS500	0.8	1.2	1.7	2.7	9.0	4.2	3.3	INTERMÉDIA
Média	2.3	1.3	4.3	2.2	7.2	4.6		
Classificação	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	DISSIPATIVA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional - Hb 5 dias								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.3	6.2	5.7	1.9	4.1	3.7	4.0	INTERMÉDIA
PN300	2.5	5.6	5.7	1.9	5.8	3.6	4.2	INTERMÉDIA
PN100	2.6	5.3	6.2	1.5	6.0	2.2	4.0	INTERMÉDIA
PS100	3.2	6.5	7.5	2.8	6.2	3.5	4.9	INTERMÉDIA
PS300	2.5	6.2	6.5	2.4	6.4	3.6	4.6	INTERMÉDIA
PS500	0.8	5.7	2.2	2.7	7.4	3.0	3.6	INTERMÉDIA
Média	2.3	5.9	5.6	2.2	6.0	3.3		
Classificação	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional - Hb 15 dias								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.2	6.1	5.5	2.6	3.6	4.8	4.1	INTERMÉDIA
PN300	2.4	5.4	5.5	2.6	5.0	4.7	4.3	INTERMÉDIA
PN100	2.5	5.1	6.0	2.1	5.2	2.9	4.0	INTERMÉDIA
PS100	3.1	6.3	7.3	3.8	5.4	4.5	5.1	INTERMÉDIA
PS300	2.4	6.1	6.3	3.2	5.6	4.7	4.7	INTERMÉDIA
PS500	0.7	5.5	2.1	3.7	6.4	3.8	3.7	INTERMÉDIA
Média	2.2	5.8	5.4	3.0	5.2	4.2		
Classificação	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional - H _b 30 dias								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.2	4.9	4.9	2.9	2.9	5.1	3.8	INTERMÉDIA
PN300	2.4	4.4	4.9	2.9	4.1	5.1	4.0	INTERMÉDIA
PN100	2.4	4.4	4.9	2.9	4.1	5.1	4.0	INTERMÉDIA
PS100	3.1	5.2	6.5	4.2	4.4	4.8	4.7	INTERMÉDIA
PS300	2.4	4.9	5.7	3.6	4.6	5.0	4.4	INTERMÉDIA
PS500	0.7	4.5	1.9	4.1	5.3	4.1	3.4	INTERMÉDIA
Média	2.2	4.7	4.8	3.4	4.2	4.9		
Classificação	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional para o diâmetro médio do perfil

Velocidade de queda adimensional - H _b 1 dia								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.5	1.4	4.9	3.1	7.0	5.4	4.0	INTERMÉDIA
PN300	2.6	1.3	4.8	3.0	7.6	5.3	4.1	INTERMÉDIA
PN100	2.6	1.3	4.8	2.8	7.3	4.8	3.9	INTERMÉDIA
PS100	2.5	1.5	5.0	3.3	8.0	5.3	4.3	INTERMÉDIA
PS300	2.7	1.4	5.0	3.2	8.1	5.3	4.3	INTERMÉDIA
PS500	2.3	1.3	3.9	2.9	8.2	4.9	3.9	INTERMÉDIA
Média	2.5	1.4	4.8	3.0	7.7	5.2		
Classificação	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	DISSIPATIVA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional - H _b 5 dias								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.4	6.5	6.4	3.1	5.8	3.8	4.7	INTERMÉDIA
PN300	2.5	6.2	6.3	3.0	6.3	3.7	4.7	INTERMÉDIA
PN100	2.6	6.0	6.3	2.8	6.0	3.4	4.5	INTERMÉDIA
PS100	2.4	7.0	6.6	3.3	6.7	3.7	4.9	INTERMÉDIA
PS300	2.7	6.6	6.5	3.2	6.7	3.8	4.9	INTERMÉDIA
PS500	2.3	6.2	5.1	2.9	6.8	3.4	4.4	INTERMÉDIA
Média	2.5	6.4	6.2	3.0	6.4	3.6		
Classificação	INTERMÉDIA	DISSIPATIVA	DISSIPATIVA	INTERMÉDIA	DISSIPATIVA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional - H_b 15 dias								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.3	6.3	6.2	4.2	5.0	5.0	4.8	INTERMÉDIA
PN300	2.4	6.0	6.1	4.1	5.4	4.9	4.8	INTERMÉDIA
PN100	2.5	5.8	6.1	3.8	5.2	4.4	4.6	INTERMÉDIA
PS100	2.3	6.8	6.3	4.5	5.8	4.8	5.1	INTERMÉDIA
PS300	2.6	6.4	6.3	4.3	5.8	4.9	5.0	INTERMÉDIA
PS500	2.2	6.0	5.0	4.0	5.9	4.5	4.6	INTERMÉDIA
Média	2.4	6.2	6.0	4.2	5.5	4.7		
Classificação	INTERMÉDIA	DISSIPATIVA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA		

Velocidade de queda adimensional - H_b 30 dias								
Perfil	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Média	
PN500	2.3	2.4	2.4	2.2	2.1	2.4	2.3	INTERMÉDIA
PN300	2.4	2.4	2.3	2.1	2.3	2.3	2.3	INTERMÉDIA
PN100	2.4	2.4	2.3	2.1	2.3	2.3	2.3	INTERMÉDIA
PS100	2.3	2.7	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	INTERMÉDIA
PS300	2.6	2.5	2.4	2.2	2.4	2.3	2.4	INTERMÉDIA
PS500	2.2	2.3	1.9	2.1	2.5	2.1	2.2	INTERMÉDIA
Média	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	2.3		
Classificação	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA	INTERMÉDIA		

Anexo 6

Tabela 1 - Declive da praia, de acordo com a hipótese b).

	m (graus)					
	PN100	PN300	PN500	PS100	PS300	PS500
Nov	1.51	2.08	3.58	4.60	5.52	4.80
Dez	2.61	2.74	2.71	3.31	5.54	9.21
Jan	3.45	2.79	2.54	2.80	5.30	11.78
Fev	3.82	3.11	3.10	3.50	4.15	7.32
Mar	3.02	3.61	3.79	4.15	4.61	9.01
Abr	3.91	3.93	3.17	3.90	4.22	4.35

Tabela 2 - Declive da praia, de acordo com a hipótese e).

	m (graus)					
	PN100	PN300	PN500	PS100	PS300	PS500
Nov	4.39	2.78	4.92	8.62	5.23	5.25
Dez	3.18	3.19	2.81	3.54	4.61	7.44
Jan	3.94	2.74	2.08	5.62	4.51	7.51
Fev	6.82	3.22	2.50	3.59	4.62	5.55
Mar	2.36	2.62	3.30	3.57	3.47	4.49
Abr	4.17	4.15	3.41	2.71	3.23	4.15